



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Uso de la bioacústica como herramienta para determinar
la riqueza de aves del interior de la selva alta
perennifolia en la zona núcleo de la Sierra de Santa
Martha, Reserva de la Biósfera de Los Tuxtlas,
Veracruz.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

MARÍA ISABEL HERRERA JUÁREZ



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. BERTHA PATRICIA ESCALANTE
PLIEGO
2013**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno
Herrera
Juárez
María Isabel
57430338
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
304137484
2. Datos del Tutor
Dra.
Bertha Patricia
Escalante
Pliego
3. Datos del sinodal 1
Dra.
Kathleen Ann
Babb
Stanley
4. Datos del sinodal 2
M. en C.
Marco Antonio
Gurrola
Hidalgo
5. Datos del sinodal 3
Biól.
Marco Fabio
Ortiz
Ramírez
6. Datos del sinodal 4
M. en C.
Noé
Pacheco
Coronel
7. Datos del trabajo escrito
Uso de la bioacústica como herramienta para determinar la riqueza de aves del interior de la selva alta perennifolia en la zona núcleo de la Sierra de Santa Martha, Reserva de la Biósfera de Los Tuxtlas, Veracruz.
95 paginas
2013

“- ¿Que es el canto de los pájaros, Adán?

-Son los pájaros mismos que se hacen aire. Cantar es derramarse en gotas de aire, en hilos de aire, temblar.

-Entonces los pájaros están maduros y se les cae la garganta en hojas, y sus hojas son suaves, penetrantes, a veces rápidas. ¿Por qué?, ¿Por qué no estoy madura yo?

-Cuando estés madura te vas a desprender de ti misma, y lo que seas de fruta se alegrará, y lo que seas de rama quedará temblando. Entonces lo sabrás. El sol no te ha penetrado como al día, estás amaneciendo.

-Yo quiero cantar. Tengo un aire apretado, un aire de pájaro, yo quiero cantar.

-Tú estás cantando siempre sin darte cuenta. Eres igual que el agua. Tampoco las piedras se dan cuenta, y su cal silenciosa se reúne y canta silenciosamente.”

Jaime Sabines 1952.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a mi hermosa madre,
por todo su amor y la grandeza de su ser...

También con cariño para mi tierna abuelita,
por albergarme en su regazo y peinar mí cabello con sus delicadas manos.

A mis hermanas Mónica y Ma. De la Luz Herrera,
por la sabiduría y la fortaleza con la que me empapan.

A mi mejor amigo Diego Padilla, por los momentos juntos.

Para Ubaldo Márquez, por ser un hombre digno de amar.
Y porqué “codo a codo en la calle, somos mucho más que dos”...

A la memoria de mi padre Trinidad Herrera.
Porqué me heredaste mucho más que genes.

Al noble Sauron, mi cola roja.
A la encantadora princesa Arwen, mi cernícala.

Y a Balrog, mí amado Harris...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi tutora, la **Dra. Patricia Escalante Pliego** por recibirme como su alumna y guiarme en el mundo de la ciencia. Por su entera confianza y por creer en mí.

A todos y cada uno de los integrantes de mi jurado, **Dra. Kathleen Ann Babb Stanley, M. en C. Marco Gurrola Hidalgo, M. en C. Noé Pacheco Coronel y Biól. Marco Fabio Ortiz Ramírez**. Muchas gracias por su tiempo revisando, por sus valiosos comentarios, sugerencias y correcciones al escrito.

A **Biól. Rosamond Coates**, jefa de la Estación Biológica Los Tuxtlas que contribuyó amablemente a agilizar el trabajo de campo.

A la comunidad de **López Mateos** y más particularmente al ejido **Miguel Hidalgo**, por colaborar con nosotros para que todo el trabajo de campo, campamentos y muestreos se llevaran a cabo.

Quisiera también agradecer a todos y cada uno de mis compañeros, integrantes de la **Colección Nacional de Aves del IBUNAM**.

Agradecimientos a título personal

Porque no solo culmina un trabajo de investigación científica, sino también una de las mejores etapas de mi vida, agradezco principalmente a mi madre **Sinforosa Juárez Moreno**. Gracias por qué hiciste todo lo que estuvo en tus manos por darme una vida digna y verme terminar la universidad; por tus enseñanzas de vida, por darme fortaleza, por preocuparte cuando estoy en el campo, por tus consejos; porque sin ti mamá, no sería la mujer que soy el día de hoy. A mi padre **José Trinidad Herrera Reyes**, porque donde quiera que te encuentres siempre vigilas mi camino y escuchas mi sentir con atención. A mi abuelita **Soledad Moreno López**, por su infinito cariño y su ternura. Porqué a usted le debo mis principios y mi voluntad.

Gracias a todos y cada uno de mis hermanos: **Juan**, por transmitirme el orgullo azul y oro; **José Trinidad**, por tus sabias palabras y por estar a mi lado siempre; **Adolfo**, porque me contagiaste el amor a las ciencias; **Ma. De la Luz**, gracias por creer en mí y darme tu entera confianza, eres una mujer admirable; **Ma. Del Socorro**, por tu cariño y reconocimiento; **Víctor**, por la fortaleza y la alegría que nos regalas y **Mónica Herrera Juárez**, por tu amor, tu guía y porque cuando necesite más de ti, compartiste conmigo el fondo del mar. Porque cada uno de ustedes ha contribuido a mi formación académica y crecimiento personal. Los cito por edades ¡no por talla de cintura! A todos, gracias.

También quiero agradecer a todos mis amigos biólogos, pero principalmente a **Diego Padilla Alcázar, Gabriel Aguilar Estrada, Mauricio Martínez Pérez, Iván Rodríguez Moreno, Andrea Porras Carrasco, Mónica Rodríguez Macedo y Juliana Vargas López**. Gracias a cada uno de ustedes, por enriquecer mi vida. Diego infinitas gracias

por tu compañía, tu cariño y tu amistad; Gabriel, muchas gracias por tu amistad y por tu guía.

A mis amigos **Christian Valdemar Zarate Rosas**, ¡Gracias gordo!, por creer en mí y siempre regalarme un sonrisa; **Mario Oscar León Hernández**, **Fernanda Loya Cancino** y **David García Ortiz** por su valiosa amistad, su preciada compañía y apoyo. A ti **Maricela Mora Peralta** porque siempre tienes para mí las palabras exactas en el momento indicado. Y a ti **Ricardo Aguilar Garay**, porque eres mi ejemplo de honestidad y valentía.

Sin olvidar, al excelente equipo de trabajo del **Zoológico de San Juan de Aragón** y más particularmente de las áreas de **Enriquecimiento Animal** y **Aves Rapaces**, quienes despertaron en mí el amor por la fauna y las aves. Más personalmente, agradezco a la **Biól. Michelle Montijo Arreguín** y **Biól. Georgina Cabrera Aguirre**, por iniciarme en el mundo de la investigación y la experimentación, por su confianza y por ser unas excelentes amigas.

Y quisiera también agradecer al **Dr. Hugh Drummond Durey**, que amablemente agilizó todos los trámites para el registro y liberación de mi servicio social y que hasta envió documentos desde Londres e incluso me recibió con una sonrisa cuando regresé una y otra vez por su firma. Gracias Hugh, por ser tan amable y sobre todo por enriquecer los momentos en la Isla con tus incontables experiencias. Gracias también a la **Dra. Lynna Kiere**, a todos mis compañeros isleños y a los pescadores que hicieron posible y aún más agradable nuestra estancia, por llenarme de alegría y compartir conmigo tan increíble aventura.

Y por último pero no menos importante, a **Biól. Ubaldo Márquez Luna**. Porque has sido mi compañero de campo, el biólogo favorito, ornitólogo preferido, amigo excepcional, superhéroe predilecto, guía, confidente y consejero, mi novio y mi pasión. Gracias por llenar mis días de alegría. Gracias por las revisiones al escrito, tus comentarios, correcciones y tu tiempo identificando especies. Por las palmadas en la espalda y las palabras de aliento. Ubaldo, no hay palabras suficientes para agradecer todo lo que haces por mi día a día. Contigo, entre la gente, bajo la lluvia, sobre la hierba y... en la cima de las montañas. Te amo.

CONTENIDO

	Página
Dedicatoria.	IV
Agradecimientos.	V
Contenido.	VII
Índice de Cuadros	IX
Índice de Figuras	X
Resumen	1
Introducción	3
Antecedentes.....	7
La bioacústica en aves y su aplicación para el monitoreo de poblaciones naturales.	7
Evolución del canto y adaptación acústica.....	13
Estudios sobre riqueza, abundancia y monitoreo de aves en Los Tuxtlas.....	15
Trabajos sobre bioacústica en aves.....	16
Justificación	17
Objetivos.....	18
Área de estudio	19
Localización Geográfica.....	19
Geología y Suelos.....	19
Clima.....	20
Hidrología.....	21
Vegetación	21
Material y Método	25
Trabajo de campo	27
Trabajo de gabinete	30
Resultados.....	33
Discusión.....	42

Conclusiones.....	47
Contribución a la comunidad.	48
Recomendaciones.....	49
Literatura citada.....	50
Colecciones bioacústicas.	59
Apéndices.	60
Apéndice I. Especies seleccionadas para su búsqueda mediante el uso de playbacks y espectrograma del canto o llamado utilizado en campo, en orden taxonómico según la AOU 2012.	60
Apéndice II. Número de especies registradas, su abundancia relativa y categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la IUCN; en orden taxonómico según la AOU, 2012.	73
Apéndice III. Espectrogramas de especies identificadas, registradas en selva alta perennifolia, en orden taxonómico según la AOU, 2012.	78

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Diferencias entre oscines y suboscines (Marler y Tamura 1964, Tubaro 1999, Baptista y Martínez-Gómez; 2002 y Podos <i>et al.</i> 2004).	10
Cuadro 2. Diferencias entre vocalizaciones de aves (Marler y Tamura 1964, Tubaro 1999, Baptista y Martínez-Gómez 2002 y Podos <i>et al.</i> 2004).	11
Cuadro 3. Resultados del ajuste al modelo de Clench (Clench 1979, Moreno y Halffter 2000).	34
Cuadro 4. Porcentaje de completitud y número de especies esperado.	34
Cuadro 5. Información obtenida por tipo de muestreo.	37
Cuadro 6. Listado de especies registradas mediante playbacks. Once especies confirmadas de 51 buscadas (ver Apéndice I).	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Selva alta perennifolia vista desde el ejido de López Mateos, Catemaco.	22
Figura 2. Sierra de Santa Martha, vista desde el ejido El Bastonal donde se observan áreas destinadas para la ganadería.	22
Figura 3. Espectograma de los llamados del aguililla blanca <i>Leucopternis albicollis</i> . 25.....	25
Figura 4. Grabadora digital Song Meter-Modelo SM2.	26
Figura 5. Localidades de muestreo en la zona núcleo de la Sierra de Santa Martha, Veracruz. 1) López Mateos (El Marinero), 2) Península de Moreno y 3) Miguel Hidalgo (El Apompal).	28
Figura 6. Curva de acumulación de especies registradas mediante la grabación del paisaje acústico, según el modelo de Clench (Clench 1979, Moreno y Halffter 2000).	35
Figura 7. Curva de acumulación de especies registradas mediante el uso de playbacks, según el modelo de Clench (Clench 1979, Moreno y Halffter 2000).	36
Figura 8. Curvas de rarefacción de especies de aves registradas mediante la grabación del paisaje acústico y el uso de playbacks.	37
Figura 9. Porcentaje de especies identificadas por orden taxonómico.	38
Figura 10. Porcentaje de especies por orden taxonómico, registradas mediante la grabación del paisaje acústico.	40
Figura 11. Porcentaje de especies por orden taxonómico, registradas mediante el uso de playbacks.	40
Figura 12. Número de especies registradas por familia del orden Passeriformes, mediante la grabación del paisaje acústico.	41
Figura 13. Número de especies registradas por familia del orden Passeriformes, mediante el uso de playbacks.	41

RESUMEN

México ha perdido el 95% de sus selvas húmedas, siendo la selva de Los Tuxtlas en el estado de Veracruz, uno de los últimos reductos de este tipo de ecosistemas y desafortunadamente una de las zonas más afectadas. Esta región es considerada históricamente como la zona con mayor número de especies de aves residentes y el área de reproducción más importante en el país, con una riqueza total de 561 especies incluyendo aves migratorias y acuáticas. Por esta razón el objetivo principal de este trabajo fue determinar la riqueza específica de aves residentes de selva alta perennifolia en la zona núcleo de la Sierra de Santa Martha, que actualmente representa la mayor extensión continua de selvas y bosques dentro de la reserva; mediante la grabación del paisaje acústico (durante el amanecer y al atardecer) y la búsqueda intensiva de 51 especies raras residentes usando playbacks.

El muestreo consta de 44 hrs de grabación dentro de 12 días de trabajo de campo. Todas las grabaciones se obtuvieron mediante una grabadora digital Song Meter-Modelo SM2 de dos canales y micrófonos modelo SMX-II de tipo omnidireccional; posteriormente se realizó el análisis espectrográfico, registro y catalogación de los sonidos vocales registrados, utilizando el programa *Adobe Audition 3*, con el que se obtuvieron pequeños segmentos de audio (cortes de vocalizaciones) de cada una de las especies. A cada segmento se le asociaron sus datos de colecta, georreferencia y espectrograma correspondiente, obtenido con el programa *Raven Lite 1.0*.

Se registró un total de 124 especies de las 178 aves residentes reportadas, que corresponden al 70% de las aves de este tipo de hábitat y aproximadamente el 40% del total de especies residentes en los diversos tipos de vegetación que conforman Los

Tuxtlas. El uso de playbacks fue primordial, ya que mediante este método se logró registrar 98 especies incluyendo 11 de las 51 especies raras y mediante la grabación del paisaje sonoro sólo 78. Las curvas de acumulación de especies, ajustadas al modelo de Clench, sugieren que aunque la calidad del inventario es buena, se espera una mayor cantidad de especies por detectar. Sin embargo, el uso de la bioacústica resultó ser una herramienta de gran utilidad para el registro de especies en este hábitat, donde la estructura y densidad de la vegetación, dificultan la observación y su correcta identificación. No obstante la combinación de diversas formas de muestreo en conjunto con el uso de estimadores y métodos relativamente nuevos, son una alternativa eficaz para caracterizar la riqueza específica. Adicionalmente, el registro y catalogación de datos sonoros, tiene una importancia comparable con la de los bancos de semillas, herbarios, museos y colecciones zoológicas.

INTRODUCCIÓN

México destaca por ser una zona particularmente importante para la conservación a nivel mundial y el cuarto país con mayor riqueza de especies (Sarukhán *et al.* 2009, Duran y Neyra 2010); albergando una extensa variedad de ecosistemas terrestres y acuáticos, donde se refugia entre el 10 y 12% de la diversidad terrestre del planeta (Duran y Neyra 2010); además de un alto índice de endemismos y riqueza genética (Sarukhán *et al.* 2012, Espinosa *et al.* 2008).

Los esfuerzos por preservar la diversidad biológica, la riqueza de especies, ecosistemas y procesos biológicos, han ido en aumento en respuesta a la necesidad por frenar daños causados por las actividades humanas (Sarukhán *et al.* 2012, Mittermeier y Goettsch 1992), tales como el calentamiento global, el deterioro en la capa de ozono, la erosión, la contaminación, la deforestación y la fragmentación de los hábitats (Sarukhán *et al.* 2012, Mittermeier y Goettsch 1992), estas dos últimas consideradas como las más graves amenazas para la diversidad, por ser las principales causas de la marcada elevación de las tasas de extinción, particularmente importantes en el caso de especies endémicas (Sarukhán *et al.* 2009, Winker *et al.* 1992). Las pérdidas biológicas no sólo se reducen a riqueza de especies, sino que también involucran el detrimento de ecosistemas completos de los que dependen muchos seres vivos, incluyendo nuestra especie (Sarukhán *et al.* 2012).

La mayor diversidad biológica en el país, se encuentra concentrada en la parte sur, en los estados de Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Guerrero y Michoacán, en orden correspondiente a riqueza de especies (Mittermeier y Goettsch 1992). Situados en la

zona de Transición Mexicana, donde convergen las zonas biogeográficas Neártica y Neotropical, como resultado de una historia tectónica y biológica compleja, influida por condiciones orográficas y climáticas cambiantes (Espinosa *et al.* 2008, Duran y Neyra 2010). Históricamente, la mayor parte del territorio mexicano estuvo cubierto por matorral xerófilo (38%), bosques de coníferas-encinos (19%) y bosque tropical cauducifolio (14%); sin embargo, hoy en día estas superficies cubren en conjunto más del 60% del país y de este porcentaje el 17% es considerado vegetación secundaria o perturbada (Duran y Neyra 2010). De los ecosistemas selváticos de nuestro país, hemos perdido el 95% y los últimos reductos de este tipo de ecosistemas son: la selva Lacandona, El Ocote y la región del Soconusco en Chiapas; Uxpanapa-Chimalapas entre los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas; La Chinantlia en Oaxaca y la región de Los Tuxtlas en Veracruz que representa una de las zonas más afectadas (Duran y Neyra 2010, Paré *et al.* 1997).

A lo largo de muchos años la región de Los Tuxtlas se ha visto fuertemente amenazada por la expansión demográfica, el avance de la frontera agrícola y la ganadería, la extracción ilegal de flora y fauna, además de la deforestación y la fragmentación (CONANP 2006). Originalmente este ecosistema cubría una superficie total de 110,000 km², que correspondía a un 6% del territorio nacional (Coates-Estrada *et al.* 1985); pero durante los años de 1972 a 1993, fue gravemente deforestada y en gran medida fragmentada (Coates-Estrada *et al.* 1985, Winker *et al.* 1992) por lo que actualmente los pequeños fragmentos de selva se encuentran rodeados principalmente por pastizales y tierras de cultivo (Estrada *et al.* 1997).

La Sierra de Los Tuxtlas, es la selva húmeda tropical, más al norte del hemisferio occidental (Andrle 1966, Winker 1997) y representa una zona prioritaria para la investigación y conservación, debido principalmente a su alta complejidad ecológica, geológica y su importancia social como una fuente de recursos naturales (CONANP 2006); este hábitat alberga un gran número de aves que participan activamente en la dinámica y estabilidad del ecosistema (Coates-Estrada *et al.* 1985). Incluso ha sido considerada históricamente como la zona con mayor número de especies de aves residentes y el área de reproducción más importante en el país (Winker 1997), con una riqueza total de 561 especies incluyendo aves migratorias y acuáticas (Schaldach y Escalante-Pliego 1997). Gran parte de esta diversidad corresponde taxonómicamente a familias de afinidad neotropical, aunado a ello, su posición norteña la convierte en una región primordial para el paso o invernación de especies migratorias neártico-neotropicales (Winker 1997). La importancia de conservación de las aves radica principalmente en los diferentes roles que juegan en los ecosistemas, ya sea como herbívoros, dispersores de semillas, polinizadores, depredadores, competidores o presas (Gill, 2007). Además de constituir un componente fundamental en los patrones de flujo de energía en las redes tróficas y su interacción ecológica con otros componentes del ecosistema (Puebla-Olivares y Winker 2004). Las consecuencias biológicas que han traído las perturbaciones ecosistémicas en la Sierra de Los Tuxtlas, han sido graves y han repercutido seriamente en la diversidad biológica (Sarukhán *et al.* 2012), especialmente en las comunidades de aves (Winker 1997), provocando un incremento de la abundancia de especies que habitan en sitios abiertos y la disminución en otros tipos de hábitats (Schaldach y Escalante-Pliego 1997, Winker 1997). Debido a ello, es en extremo necesario llevar a cabo actividades de conservación y protección

para áreas prioritarias, mediante la elaboración de inventarios integrales sobre la diversidad biológica que albergan, formar bases de datos que permitan conocer los componentes que comprende el ecosistema y que a su vez contribuyan a conservar, proteger, monitorear y además, realizar un aprovechamiento racional de nuestros recursos naturales (Sarukhán *et al.* 2009, Coates-Estrada *et al.* 1985).

El uso del canto como método para la identificación de especies es particularmente apropiado en condiciones en que la observación directa se encuentra limitada por la estructura y densidad de la vegetación o por la falta de luz en el caso de especies de hábitos nocturnos (Celis-Murillo *et al.* 2009, Tubaro 1999); por lo que las técnicas de bioacústica tales como la reproducción (playbacks), la grabación y la documentación de los sonidos que emiten las aves, son una gran herramienta en la realización de censos y monitoreos, especialmente útiles y económicos para estimar la biodiversidad en regiones de selva (Celis-Murillo *et al.* 2009, Tubaro 1999). Por lo que las grabaciones representan una alternativa para describir la riqueza de especies, composición y patrones de distribución de ocupación para la mayoría de las especies, ya que las aves en general y los machos en periodo reproductivo son extremadamente vocales, lo que facilita su detección a grandes distancias (Tubaro 1999). Las aportaciones de la bioacústica y el uso de playbacks a estudios de naturaleza teórica (McGregor *et al.* 1992), también constituyen herramientas invaluable para la biología de la conservación y debido a que muchas aves responden a grabaciones especie-específicas pueden ser utilizadas para la búsqueda de especies raras, de hábitos poco conspicuos, además de la realización de estudios del tamaño de ámbito hogareño, distribución y abundancia (McGregor *et al.* 1992, Baptista y Martínez-Gómez 2002).

ANTECEDENTES

La bioacústica en aves y su aplicación para el monitoreo de poblaciones naturales.

La bioacústica es el estudio del comportamiento de comunicación acústica de los animales (Baptista y Gaunt 1994, Tubaro 1999), que incluye el estudio de la diversidad de mecanismos de producción de sonido, la anatomía y la función auditiva (Nottebohm *et al.* 1990). Además del sonar, la interacción entre el sonido y el medio ambiente (Boncoraglio y Saino 2007) e incluso los efectos que tiene el ruido antrópico en los animales (Ríos-Chelén 2009).

La grabación y el estudio de los sonidos en animales, se ha realizado desde los siglos XIV y XX (Baptista y Gaunt 1994). En aves, tuvo un gran auge a partir de los desarrollos tecnológicos que ocurrieron durante la segunda guerra mundial (Baptista y Gaunt 1994, Marler 2004). Los principales desarrollos tecnológicos que impulsaron la bioacústica fueron la grabadora de cinta magnética, los micrófonos con parábola y el audioespectrógrafo (Baptista y Gaunt 1994, Catchpole y Slater 2008). Esto hizo posible la grabación y análisis de sonidos animales en el laboratorio mediante la elaboración de espectrogramas¹, utilizados para el estudio de cantos de aves por primera vez en 1954 por Thorpe (Marler 2004, Catchpole y Slater 2008), ello permitió realizar descripciones objetivas y a su vez cuantificar parámetros de sonidos de corta duración (Baptista y Gaunt 1994, Baptista y Martínez-Gómez 2002), además de comparar vocalizaciones de diferentes individuos, poblaciones, subespecies y especies (Baptista y Gaunt 1994).

¹ Imágenes gráficas del sonido que muestran la energía en cada frecuencia en función del tiempo (Marler 2004). La energía se encuentra representada en el eje z comúnmente mediante sombra o color (Villanueva-Rivera, *et al.* 2011).

Las aves son animales intensamente vocales (Catchpole y Slater 2008) y la comunicación mediante el uso de señales acústicas ha llegado a desempeñar un papel central en la sobrevivencia, el despliegue reproductivo, como el reconocimiento y atracción de pareja (Catchpole y Slater 2008, Tubaro 1999). Las vocalizaciones representan un indicador honesto sobre la salud, edad y las cualidades genéticas del emisor, evitando la endogamia y la hibridación (Nowicki *et al.* 1998, Searcy y Nowicki 2005). Algunos autores reconocen que puede ser un mecanismo de aislamiento reproductivo, capaz de afectar el flujo de genes, a través de su influencia en la capacidad de los machos de atraer hembras o de establecer y mantener su territorio (Slabbekoorn y Smith 2002, Derryber 2007, Searcy y Nowicki 2005).

Existe una gran diversidad de mecanismos de emisión de sonidos por los animales (Podos *et al.* 2004), sin embargo, independientemente de su complejidad, un cuerpo productor de sonido siempre será un cuerpo vibratorio (Villanueva-Rivera *et al.* 2011, Marler 2004). Las aves son capaces de emitir una gran variedad de sonidos, que ocurren generalmente entre los 500 Hz y los 10,000 Hz e incluso hasta los 14 000 Hz en vencejos (Marler 2004) de naturaleza vocal o no vocal (Marler 2004). Los sonidos no vocales pueden ser generados por el movimiento y fricción de las plumas, que en muchas especies pueden estar modificadas (Faaborg y Chapling 1988); sin embargo, también son capaces de involucrar elementos del ambiente tales como los troncos de los árboles, por ejemplo, los pájaros carpinteros por lo que el proceso de comunicación solo se ve limitado por la habilidad del emisor para producir sonidos (Faaborg y Chapling 1988, Podos *et al.* 2004).

Cuando un ave canta, la energía vibratoria se desplaza por el aire, un medio elástico y con una densidad relativa, propagándose mediante ondas longitudinales de carácter tridimensional y espacial, a través de impulsos de condensación y rarefacción, que se desplazan desde la fuente generadora hacia el receptor (Catchpole y Slater 2008 y Villanueva-Rivera *et al.* 2011). Esta señal sonora se encuentra sujeta a presiones de selección natural, estrechamente relacionadas con la estructura y composición del hábitat (Slabbekoorn y Smith 2002, Boncoraglio y Saino 2007).

La siringe, que es el órgano productor de sonido característico de la clase Aves (Gill 2007); consiste en un par de órganos vocales cerca de la unión de los dos bronquios principales y la tráquea. Funciona en conjunto con los sistemas neurales complementarios con base en la vibración de tejidos, que generan ondas de sonido al pasar la presión de aire proveniente de los pulmones (Brakenbury 1982, Gill 2007, Catchpole y Slater 2008). Los componentes anatómicos anteriores a la siringe, como la tráquea, la laringe y el pico son capaces de modificar la estructura espectral de las vocalizaciones, por lo que la siringe, es responsable del tono puro y la calidad musical (Nowick y Marler 1988, Podos *et al.* 2004). Cada bronquio es capaz de generar el mismo sonido de igual frecuencia e intensidad y así duplicar el volumen o producir dos diferentes partes del canto, fenómeno conocido como dos voces y particularmente estudiado en aves oscinas (Baptista y Gaunt 1994, Gill 2007).

El orden Paseriformes incluye a las aves oscinas o verdaderas canoras, llamadas así porque presentan una compleja musculatura en el órgano vocal, la siringe (Searcy y Nowicki 2005) y a las suboscinas (Cuadro 1); cuyas diferencias se deben principalmente a que este grupo de passeriformes carece de centros de control cerebral,

responsables de controlar los mecanismos de retroalimentación del aprendizaje similares o iguales a los que presentan las aves oscinas (Raposo y Höfling 2003). Cabe mencionar que aunado a esto, la capacidad de desarrollar variaciones microgeográficas del canto o dialectos, se encuentra estrechamente correlacionada con la habilidad de aprender, por lo que las aves suboscinas podrían no exhibir variación geográfica en las vocalizaciones²; sin embargo, las diferencias en estos dos taxones probablemente son resultado de factores innatos y ambientales (Raposo y Höfling 2003).

Cuadro 1. Diferencias entre oscinas y suboscines (Marler y Tamura 1964, Tubaro 1999, Baptista y Martínez-Gómez 2002, Raposo y Höfling 2003 y Podos *et al.* 2004).

	Canto	Siringe	Sonidos
Oscines	Innato, improvisan y aprenden.	Compleja	Generalmente más complejos.
Suboscines	Innato.	Simple	Simple

Los sonidos vocales de las aves pueden ser cantos o llamados (Thorpe 1961, Catchpole y Slater 2008; Cuadro 2). Están compuestos por una serie de unidades, que de acuerdo a Thompson *et al.* (1994) son: a) *Nota ó elemento*, que es la unidad de sonido más pequeña y se observa como un elemento continuo en un espectrograma (Baptista y Martínez-Gómez 2002, Catchpole y Slater 2008). b) *Sílaba*, definida como un conjunto de dos o más notas (Marler 2004). c) *Trino*, que consiste en un grupo de sílabas que presentan una frecuencia sostenida o la repetición de una misma nota con una velocidad variable y modulación característica descendente de frecuencia (Tubaro 1999). d) *Frase*, que se conforma por una serie de unidades que se representan juntas

²La premisas de que las vocalizaciones en el grupo de los suboscines son innatas y que además son incapaces de desarrollar dialectos, dadas las diferencias aparentes en la estructura cerebral entre oscinas y suboscines, es un tema controversial y muy poco explorado dada la diversidad del orden Passeriformes y el número de especies estudiadas (ver Raposo y Höfling 2003).

en un patrón particular o grupos de sílabas repetidas (Catchpole y Slater 2008). El término “canto” se refiere primariamente a sonidos que se componen generalmente por una serie de notas de frecuencia modulada y estructura compleja y sus componentes principales son sílabas, frases y trinos (Marler y Tamura 1964 y Gill 2007). Por otro lado, el término “llamado” hace referencia a sonidos de corta duración, constituidos por notas de tono puro con una frecuencia constante ó sílabas simples (Marler y Tamura 1964, Gill 2007).

Cuadro 2. Diferencias entre vocalizaciones de aves (Marler y Tamura 1964, Tubaro 1999, Baptista y Martínez-Gómez 2002 y Podos *et al.* 2004).

Vocalización	Composición acústica	Forma de transmisión	Emisor	Asociados a	Temporada
Canto	En general son de larga duración. Notas de frecuencia modulada y estructura compleja.	Aprendizaje	Comúnmente por los machos adultos.	Atracción de pareja. Establecimiento y defensa del territorio.	Reproductiva
Llamado	Corta duración. Notas de tono puro con frecuencia constante. O a veces sílabas simples.	Genética	Ambos sexos tanto adultos como juveniles.	Contextos particulares como defensa del territorio, agresión, advertencia de depredadores, alarma, anidación, vuelo y en algunos casos forrajeo.	Durante todo el año.

La variación interespecífica del canto se encuentra en la gran especificidad en la duración, calidad tonal, número de sílabas, ritmo y frecuencia del canto (Baptista y Martínez-Gómez 2002). Su origen es genético (Payne 1986), puesto que estas características acústicas se correlacionan con el tamaño del cuerpo, la longitud del

tracto vocal y la morfología (Ryan y Brenowitz 1985, Podos 2001, Slabberkoorn y Smith 2002). Pese a que la estructura del canto es inmensamente variable, debido a su carácter estereotipado, puede ser considerado por los investigadores como un carácter taxonómico (Isler *et al.* 1998, Isler *et al.* 1999, Tubaro 1999). Entre poblaciones podemos encontrar diferencias significativas, en la estructura detallada del trino y a nivel de individuo en el patrón único de la canción, dado por la omisión, repetición o diferencia de un elemento, originadas genética y culturalmente (Marler y Tamura 1964, Tubaro 1999).

Se ha demostrado que los loros, tucanetas, colibríes y pájaros del orden Passeriformes, requieren del aprendizaje para el desarrollo del canto (Raposo y Höfling 2003), que ocurre en dos etapas principales, la primera es la “sensorial” donde el ave escucha y memoriza el patrón del canto y la segunda etapa es la “sensorial motora” durante la cual el individuo comienza a emitir los sonidos que memorizó, para ser corregidos paulatinamente (Tubaro y Segura 1989, Nowicki *et al.* 1998). Posterior a este evento los adultos generalmente dejan de cantar, por lo que el canto es retomado hasta finales del invierno y la primavera, donde los machos jóvenes comienzan a participar (Marler y Tamura 1964). El ritmo e incluso el tamaño del repertorio se encuentran sujetos a selección sexual y tienen una alta heredabilidad (Searcy y Nowicki 2005, Podos *et al.* 2004). Sin embargo, pueden generarse copias inexactas o variantes del canto, cuya distribución geográfica no es homogénea y se les denomina dialectos (Mundinger 1982, Tubaro y Segura 1989, Gill 2007).

La actividad acústica puede variar de acuerdo a la región geográfica, puesto que en regiones templadas, la mayor actividad ocurre durante la temporada de cortejo, hasta la

puesta de huevos y resurge durante el otoño (Marler 2004). En muchas especies de aves, el canto de los machos sigue un ritmo circadiano, siendo mayor durante el amanecer cuando se producen llamados por largos periodos de tiempo a lo que se denomina “coros del amanecer”; diversas hipótesis tratan de explicar la existencia de los coros al amanecer, entre estas destaca la hipótesis de transmisión acústica que predice que las aves cantan más intensamente durante el amanecer debido a que es el momento del día en que los sonidos producidos por las aves se propagan más efectivamente y a una mayor distancia, sufriendo el mínimo de degradación producida por el ambiente; sin embargo, Dabelsteen y Mathevon (2002), sugieren que de acuerdo a la evaluación de la influencia de diferentes factores ambientales (como por ejemplo: temperatura, humedad relativa y la velocidad del viento) en la propagación del sonido; favorecen que este se propague más efectivamente durante el atardecer y no durante el amanecer; por lo que otras hipótesis basadas en los mecanismos fisiológicos que desencadenan la conducta ó las funciones sociales asociadas al canto, podrían dar una mejor explicación a este fenómeno.

Evolución del canto y adaptación acústica.

La Hipótesis de Adaptación Acústica, propuesta por Morton (1975) sobre la evolución del canto con relación a las condiciones ecológicas, sugiere que las características acústicas se seleccionan para permitir maximizar la transmisión del sonido y minimizar la degradación de la señal, esto sin considerar los costos energéticos y la exposición a la depredación, entendiéndose como degradación la suma de cambios estructurales que se producen por la interacción del sonido con el ambiente (Wiley y Richards 1982), así como a los ecos y reverberaciones que la señal acumula desde la fuente emisora

hasta que es percibida por el receptor o bien por la disminución progresiva de la intensidad de la señal³ principalmente por el follaje denso (Boncoraglio y Saino 2007, Gill 2007).

Sin embargo, la vegetación, el suelo, en conjunto con la variación en la temperatura, la humedad relativa y el viento influyen en la transmisión de la señal sonora, produciendo interferencia, absorción y diseminación del sonido; sin embargo, la frecuencia determina en gran medida la distancia a la que se va a propagar y cuanta distorsión o degradación sufrirá hasta llegar al receptor (Gill 2007). Los sonidos de baja frecuencia, se ven favorecidos por la vegetación densa, viajando largas distancia, sujetos a una menor atenuación e interferencia que los de alta frecuencia; ya que estos son más vulnerables a factores atmosféricos y a sufrir absorción por la vegetación, por lo que son más afectivos en hábitats abiertos (Boncoraglio y Saino 2007).

El proceso de selección natural de las características del canto dependientes del ambiente, pueden conducir a la similitud acústica entre poblaciones de un mismo hábitat y a la divergencia entre poblaciones que viven en hábitats diferentes; por lo que especies estrechamente relacionadas también han divergido acústicamente en forma correspondiente a las propiedades de transmisión de sus respectivos hábitats (Slabberkoorn y Smith 2002).

El Modelo de Adaptación Acústica propone que las características sonoras que se presentan en diferentes ambientes naturales, es uno de los factores que dan origen a los dialectos puesto que cada hábitat presenta un dialecto particular y poblaciones que

³ La intensidad de señal es medida en energía por unidad de superficie y aumenta en relación a la distancia (Boncoraglio y Saino 2007).

habitan en ambientes ecológicamente parecidos presentan similitudes en el tipo de canto dialectal, que surge y se conserva por medio de un proceso de selección “cultural” (Tubaro y Segura 1989).

Estudios sobre riqueza, abundancia y monitoreo de aves en Los Tuxtlas.

Los principales trabajos avifaunísticos de la Sierra de Los Tuxtlas, son de Andrlé (1967), Coates-Estrada *et al.* (1985) y Winker, *et al.* (1992) que iniciaron mediante la realización de colectas intensivas y observaciones directas para obtención de datos sobre la riqueza de especies, abundancia, comportamiento, uso del hábitat, distribución y migración. El último listado reportado para la región de Los Tuxtlas, fue publicado por Schaldach y Escalante-Pliego (1997), registrando un total de 561 especies, de las cuales 286 son clasificadas como residentes permanentes, incluyendo 121 especies no paseriformes y 124 paseriformes (47 suboscines y 77 oscines).

Entre los trabajos más recientes sobre la avifauna de la región, destaca la evaluación del estado de conservación de las familias Psittacidae, Accipitridae, Falconidae y Rhamphastidae, realizada por De Labra *et al.* (2010) mediante técnica de transecto de ancho variable y observaciones, logrando registrar 20 de las 34 especies reportadas para la región. De la familia Psittacidae, se registraron tres de las nueve especies residentes, las más abundantes fueron *Amazona autumnalis*, *A. albifrons* y *Aratinga nana* siendo más frecuentes en zonas no boscosas y de hábitos generalistas, por lo que pueden tolerar un cierto grado de alteración del hábitat. Sin embargo, otros psittacidos como *Pionus senilis* y *Aratinga holochlora* no se han registrado desde hace más de 10 años. Por otro lado, el estado actual de las poblaciones de *Amazona farinosa*, *A. oratrix*, *Pionopsitta haematotis* y *Bolborhynchus lineola*, es desconocido y es posible que se

hayan extinguido localmente. También se confirmó la presencia de las tres especies de la familia Rhamphastidae, de las cuales solo *Rhamphastos sulfuratus* sigue presente en bosque tropical perennifolio con densidades poblacionales relativamente altas (De Labra *et al.* 2010).

Actualmente, no ha sido posible estimar las densidades poblacionales de las aves del orden Falconiformes, ya que solo se han obtenido registros de nueve especies, entre las que destaca *Micrastur ruficollis* con dos avistamientos en sitios con mayor cobertura vegetal, mientras que de *Micrastur semitorquatus* no se tienen registros actuales e históricamente se podía observar en manchones de vegetación no perturbados (De Labra *et al.* 2010).

Trabajos sobre bioacústica en aves.

Los principales trabajos de bioacústica en el estado de Veracruz y más particularmente para la región de Los Tuxtlas, corresponden a los de Rappole *et al.* (1992) quienes monitorearon aves migratorias en la región de Los Tuxtlas, a partir de captura con redes, marcaje de color, observación y grabación de llamados durante el vuelo logrando grabar e identificar 22 especies. González y Ornelas (2005) realizaron una descripción de las características acústicas, estructura y uso contextual de las vocalizaciones de *Campylopterus curvipennis* en seis localidades de la parte centro del estado. Y por último González-García y Celis-Murillo publicaron en el 2008, el primer volumen de la colección Cantos de las Aves de México/Bird Songs of Mexico que corresponde al estado de Veracruz y que contiene sonidos de 77 especies de aves residentes y migratorias, entre los que destacan vocalizaciones raramente escuchadas y emitidas.

JUSTIFICACIÓN

La avifauna de la Sierra de Los Tuxtlas, es una de las más ricas de la parte norte del Neotrópico, debido principalmente a la contribución de familias de afinidad Neotropical (19 familias), y posee siete formas endémicas una única especie y seis subespecies (Winker 1997). Su localización representa el límite boreal extremo de la selva tropical en el continente, propiciando que muchas especies migratorias neártico-neotropicales pasen por la zona o la utilicen como refugio durante el invierno (28 especies, Schaldach y Escalante Pliego 1997), por lo que forma parte de una de las principales rutas migratorias continentales (Rappole *et al.* 1997).

Sin embargo, se encuentra sujeta a un riesgo tangible de perderse a corto plazo o de subsistir solamente en reductos aislados y ecológicamente anómalos (Ibarra-Manríquez *et al.* 1992). La alta tasa de deforestación y a la pérdida acelerada de hábitat ha provocado la reducción poblacional de muchas aves selváticas (Winker 1997); incluso la extirpación de tres especies (Schaldach y Escalante Pliego 1997). Por lo que este trabajo representa el primer censo de aves residentes de selva alta perennifolia en la zona de la Sierra de Santa Martha, Los Tuxtlas; que actualmente representa la mayor extensión continua de selvas y bosques (Paré *et al.* 1997). El estudio se realizó mediante el uso de técnicas de bioacústica como la grabación y el análisis de los paisajes sonoros, además de playbacks; los cuales, son una herramienta muy útil para la evaluación y monitoreo de la biodiversidad. Sobre todo en comunidades complejas donde la vegetación complica la identificación visual de las especies.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Determinar la riqueza de especies del interior de la selva alta perennifolia, mediante el uso de técnicas bioacústicas de la zona núcleo de la Sierra de Santa Martha, Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz.

Objetivos particulares.

1. Determinar la riqueza de aves que habitan la selva alta perennifolia de la Sierra de Santa Martha, a través de la grabación y el análisis del paisaje sonoro.
2. Detectar la presencia de especies de aves residentes raras mediante el uso de llamados especie-específicos.
3. Evaluar el éxito que se tiene en la detección de especies mediante la grabación del paisaje acústico y con el uso de llamados coespecíficos o playbacks.
4. Contribuir a la generación de un banco de sonidos de cantos y llamados de aves del interior de selva alta perennifolia de la zona núcleo de la Sierra de Santa Martha, Los Tuxtlas, Veracruz.

ÁREA DE ESTUDIO

Localización Geográfica

El presente trabajo se llevó a cabo en la Sierra de Santa Martha, localizada entre los 18° 21' N y 94°57'W, que comprende un área aproximada de 1, 500 km² de un total de 42,000 Km² que conforman la región de Los Tuxtlas (Puebla-Olivares y Winker 2004), en las que se encuentran cinco municipios (Pajapan, Mecayapan, Soteapan y Hueyapan de Ocampo).

Geología y Suelos

La Sierra de Santa Martha forma parte de la provincia morfotectónica de la planicie costera del Golfo de México (Ibarra-Manríquez, *et al.* 1997), originándose a partir de los 200 m.s.n.m y elevándose hasta un poco más de los 1700 m.s.n.m (Soto y Gama 1997); representa uno de los dos macizos volcánicos que integran la región de Los Tuxtlas, el macizo volcánico sureste (Andrle 1967) que se encuentra separado por una depresión en la que se localiza el lago de Catemaco y la laguna de Sontecomapan, formado por los volcanes San Martín Pajapan y Santa Martha, además de la serranía Yahualtajapan-Bastonal (Mayer 1962, Paré *et al.* 1997).

La litología de esta zona pertenece al Cenozoico, y presenta sedimentos que se originaron a partir de depósitos marinos. Las rocas de este territorio pertenecen al Cretácico tardío y se pueden encontrar desde andesitas hasta lavas basálticas alcalinas (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997).

Clima

Las características climáticas de la Sierra de los Tuxtlas se ven influenciadas principalmente por el viento del noreste y viento continental, así como por la humedad (Andrle 1967), además de las particularidades del terreno y dos principales tipos de perturbaciones atmosféricas que son los “nortes”, que tienden a provocar un decremento en la temperatura y los “ciclones tropicales” que son responsables de los aportes considerables de humedad y un aumento en la precipitación en el mes de septiembre y octubre (Soto y Gama 1997).

La región se encuentra dividida principalmente en tres zonas térmicas, la más cálida se encuentra en la parte suroeste, con una temperatura media anual mayor a 26°C; la condición climática predominante se encuentra en posición noreste y a altitudes menores de 200 m de altitud, que presenta un intervalo de temperaturas promedio de 24-26°C y en la parte más alta de la sierra, que excede los 1600 m.s.n.m, presenta características templadas (Soto y Gama 1997).

El tipo de climas presentes son el grupo de climas cálidos A, que se caracterizan por que la temperatura media anual es mayor a 22°C y la temperatura del mes más frío es superior a los 18°C y el subgrupo semicálido A(C) con una temperatura media anual mayor de 18°C y tres subtipos entre los que destacan el semicálido húmedo con lluvias todo el año (A)C(fm) y el tipo cálido con lluvias todo el año Af(m) (Soto y Gama 1997). La temperatura más alta y los niveles de menor precipitación se presentan en el mes de mayo, mientras que las temperaturas más bajas (10°C) se reportan en el mes de enero (Soto y Gama 1997).

La precipitación media anual que oscila entre los 1,500 y 4,500 mm, hace de la región una de las más lluviosas del país donde se registran precipitaciones anuales que exceden los 5,000 mm (Soto y Gama 1997) aunque llueve durante todo el año, se puede distinguir una tendencia estacional desde el mes de junio a febrero, incrementando durante julio a noviembre y una temporada de secas entre marzo y mayo, que corresponde al mes más seco (Soto y Gama 1997).

Hidrología

La naturaleza volcánica del terreno y sus levantamientos, establecen las tres principales vertientes hidrológicas, dispuestas de forma radial las dos primeras se conforman por ríos y arroyos de menor importancia y en la parte más al norte, la primera vierte sus aguas directamente en el Golfo de México o indirectamente en la laguna de Sontecomapan, mientras que la segunda localizada hacia el sureste, desciende del volcán Santa Marta hacia el río Coatzacoalcos y desde el volcán San Martín Pajapan hacia la laguna costera de Ostión y por último, la tercera vertiente y de mayor superficie, a partir de la cual se forma el lago de Catemaco localizado entre los dos macizos volcánicos se encuentra en la parte sur y suroeste del volcán Santa Marta, con el río Hueyapan que se une con el río San Juan, que también recibe agua del volcán San Martín Tuxtla y desemboca en la laguna de Alvarado (Martín-Del Pozo 1997).

Vegetación

El tipo de vegetación dominante original de la región es la selva alta perennifolia por lo que la Sierra de Los Tuxtlas constituía una de las más extensas áreas de bosque húmedo tropical en México (Andrle 1967) y la Sierra de Santa Martha hoy representa la

mayor extensión continúa de selvas y bosques que hay en Los Tuxtlas (Paré *et al.* 1997, Figura 1 y 2). Este tipo de vegetación se caracteriza por un proceso dinámico de recambio de árboles, favorecido principalmente por la acción combinada del viento y las pendientes pronunciadas (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997). A continuación se describen las tres principales variantes de selva presentes:

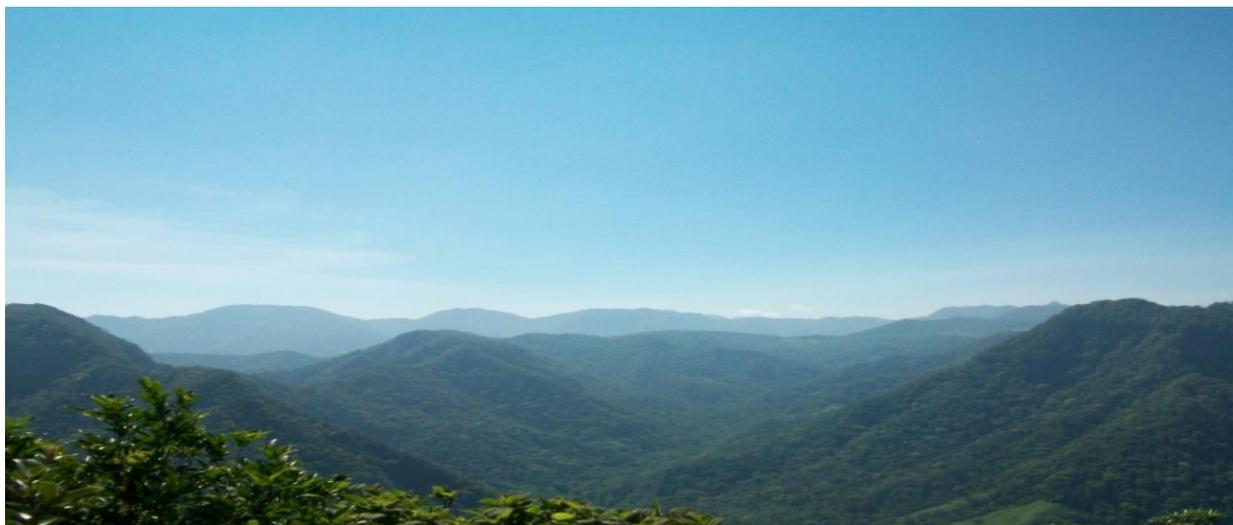


Figura 1. Selva alta perennifolia vista desde el ejido de López Mateos, Catemaco (fotografía tomada por Isabel Herrera).

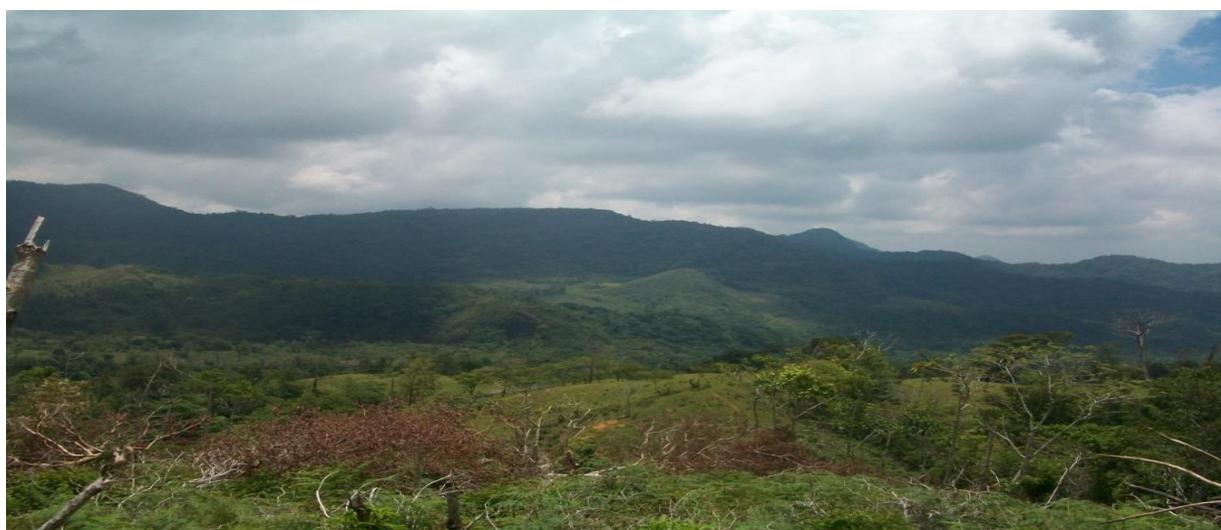


Figura 2. Sierra de Santa Martha, vista desde el ejido El Bastonal donde se observan áreas destinadas para la ganadería (fotografía tomada por Isabel Herrera).

1.- Selva alta perennifolia sobre suelos profundos

Este tipo de vegetación se localiza en altitudes que oscilan entre los 160-350 m.s.n.m, el dosel presenta una altura máxima de 30-35 m, aunque algunos árboles pueden presentar una altura máxima de 40 m, como *Ficus yoponensis*, *F. tecolutensis* o *Ceiba pentandra* algunas de las especies más abundantes son: *Chamaedora pinnatifrons*, *C. alternans* (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997).

2.- Selva alta perennifolia de las cimas de montaña

Esta comunidad vegetal se encuentra entre los 350-700 msnm; la altura promedio de los árboles oscila entre los 10 a 20 m, llegando a presentarse algunas especies como *Nectandra lundelli* u *Ormosia panamensis*, que alcanzan los 25 m de altura, en zonas planas; este tipo de selva se caracteriza por presentar en menor cantidad, plantas de la familia *Arecaceae*, en correlación al incremento de altitud (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997).

La prevalencia de árboles pequeños está dada gracias a la frecuente caída de árboles, trayendo como resultado un bosque con diferentes etapas sucesionales; la presencia de neblina es muy frecuente durante la época de nortes, lo que favorece el establecimiento de especies que predominan en altitudes mayores, como *Juglans olanchana* y *Ulmus mexicana* (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997).

3.- Selva alta perennifolia sobre suelos jóvenes

Se localiza entre los 350 y 550 m.s.n.m, es comúnmente conocida como “pedregal” o “malpaís” y se caracteriza principalmente por establecerse sobre roca volcánica y suelos jóvenes poco profundos, que favorecen la caída frecuente de árboles, que

alcanzan alturas promedio de 35m. Sin embargo, la vegetación dominante son palmas y en muchas zonas las especies dominantes son *Chamaedora alternans* y *C. woodsoniana*, además de especies rupícolas y epífitas (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997).

Sin embargo, otros tipos de vegetación que actualmente se encuentran en Los Tuxtlas son: bosque cauducifolio, manglar, sabana, selva mediana subcaducifolia, bosques de pinos, encinares y vegetación costera (Sousa 1968, Ibarra-Manríquez *et al.* 1997). La vegetación presente en zonas perturbadas son pastizales, originados por la plantación de gramíneas exóticas para actividades ganaderas plantas ruderables, herbáceas de tipo malezoide y “acahuales”, que representan comunidades secundarias en distintas etapas de regeneración (Ibarra-Manríquez *et al.* 1997).

MATERIAL Y MÉTODO

Se seleccionaron 51 especies residentes, caracterizadas por tener una baja densidad poblacional⁴ y hábitos poco conspicuos (Schaldach y Escalante-Pliego 1997, Apéndice I). La estructura de la vegetación y la baja visibilidad, dificultan el registro visual y el éxito de captura de estas especies, es por ello que se decidió hacer uso de playbacks, el cual se ha reportado como el mejor método de registro para especies raras (Baptista y Gaunt 1997).

Edición de playbacks. Se realizó una recopilación por especie, de llamados, cantos y sonogramas correspondientes, ya publicados y disponibles en bases de datos y colecciones especializadas (Apéndice I). Los sonidos recopilados fueron editados mediante el programa *Adobe Audition 3* (Adobe Systems Incorporated 2007, Figura 3) que facilitó mejorar la calidad de audio, la amplificación de volumen e incluso la eliminación del ruido ambiental.

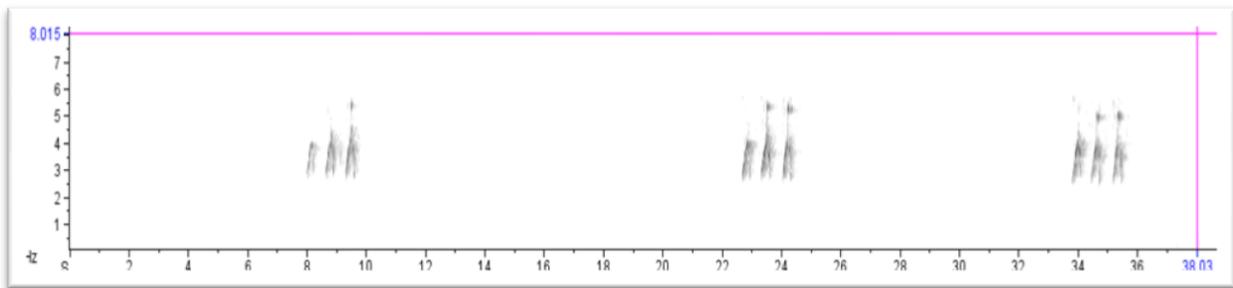


Figura 3. Espectrograma de los llamados del aguillilla blanca *Leucopternis albicollis*⁵

⁴ La mayoría de las especies seleccionadas se encuentran registradas como raras (r): registradas 10 ocasiones por año y no observadas durante largos periodos de tiempo y muy raras (ru): observadas 14 veces en la región, estas aves pueden estar bajo alguna categoría de riesgo (Schaldach y Escalante-Pliego 1997).

⁵ Tomado de: www.xeno-canto.org/3132. A. Bennett Hennessey, XC3132.

Técnica de grabación y equipo. Todas las grabaciones se obtuvieron mediante una grabadora digital Song Meter-Modelo SM2 (Figura 4) de dos canales y micrófonos modelo SMX-II de tipo omnidireccional que presentan una sensibilidad de $-36\pm 4\text{dB}$, una respuesta de frecuencia de 20 a 20 000 Hz y una proporción señal-ruido mayor a 62dB (Wildlife Acoustics 2011). Todos los archivos de audio se guardaron en formato sin compresión wave (.WAV) de 16 bits, con una tasa de muestreo de 44.100 Hz (sugerido por Villanueva-Rivera *et al.* 2011) en tarjetas SD marca Kingston de capacidad de 8 Gb de memoria. Para la realización de playbacks se utilizó un reproductor marca SONY, modelo NWZ-E453 de formato .MP3, un cable RCA y un micro amplificador portátil marca Marshall, modelo Jcm900. En cada grabación se obtuvo el registro completo del paisaje sonoro⁶ (Villanueva-Rivera *et al.* 2011), en formato estéreo para poder tener un panorama completo de la posición de todas las fuentes de sonido.



Figura 4. Grabadora digital Song Meter-Modelo SM2 (fotografías tomadas por Isabel Herrera).

⁶ Los sonidos en un paisaje a menudo son un complejo, es decir múltiples fuentes en diferentes lugares emiten sonidos en distintos momentos e intensidades, lo que se conoce como paisaje sonoro (Villanueva-Rivera *et al.* 2011).

TRABAJO DE CAMPO

Todas las grabaciones fueron realizadas en los meses de mayo y junio de 2011, que corresponden a los meses de mayor actividad acústica de las aves, ya que el pico de reproducción de las especies residentes ocurre durante los meses de abril a junio (Rappole *et al.* 1997).

Durante el tiempo de grabación fue necesario utilizar guías y binoculares para identificar las fuentes de sonido más cercanas y hacer comentarios acerca de lo que se está observando en ese momento (Villarreal *et al.* 2006).

La recolecta de datos se llevó a cabo en dos salidas al campo, para lo que fue necesario realizar campamentos de tres a cuatro días en selva; con la colaboración y participación de las comunidades así como las contribuciones y sugerencias de los guías que fueron esenciales para que todo el trabajo de campo se llevara a cabo.

Todas las grabaciones se realizaron en tres principales ejidos de la Sierra de Santa Martha, cuya localización va desde la parte noroeste hacia la zona núcleo, abarcando dos gradientes altitudinales que van de los 160-350 y 350-700 m.s.n.m.

Los ejidos se encuentran en el municipio de Catemaco, y son: 1) López Mateos (El Marinero), 2) Península de Moreno y 3) Miguel Hidalgo (El Apompal), ubicado en las faldas del extinto volcán El Bastonal, en la zona núcleo de la reserva (Figura 5, Paré *et al.* 1997).

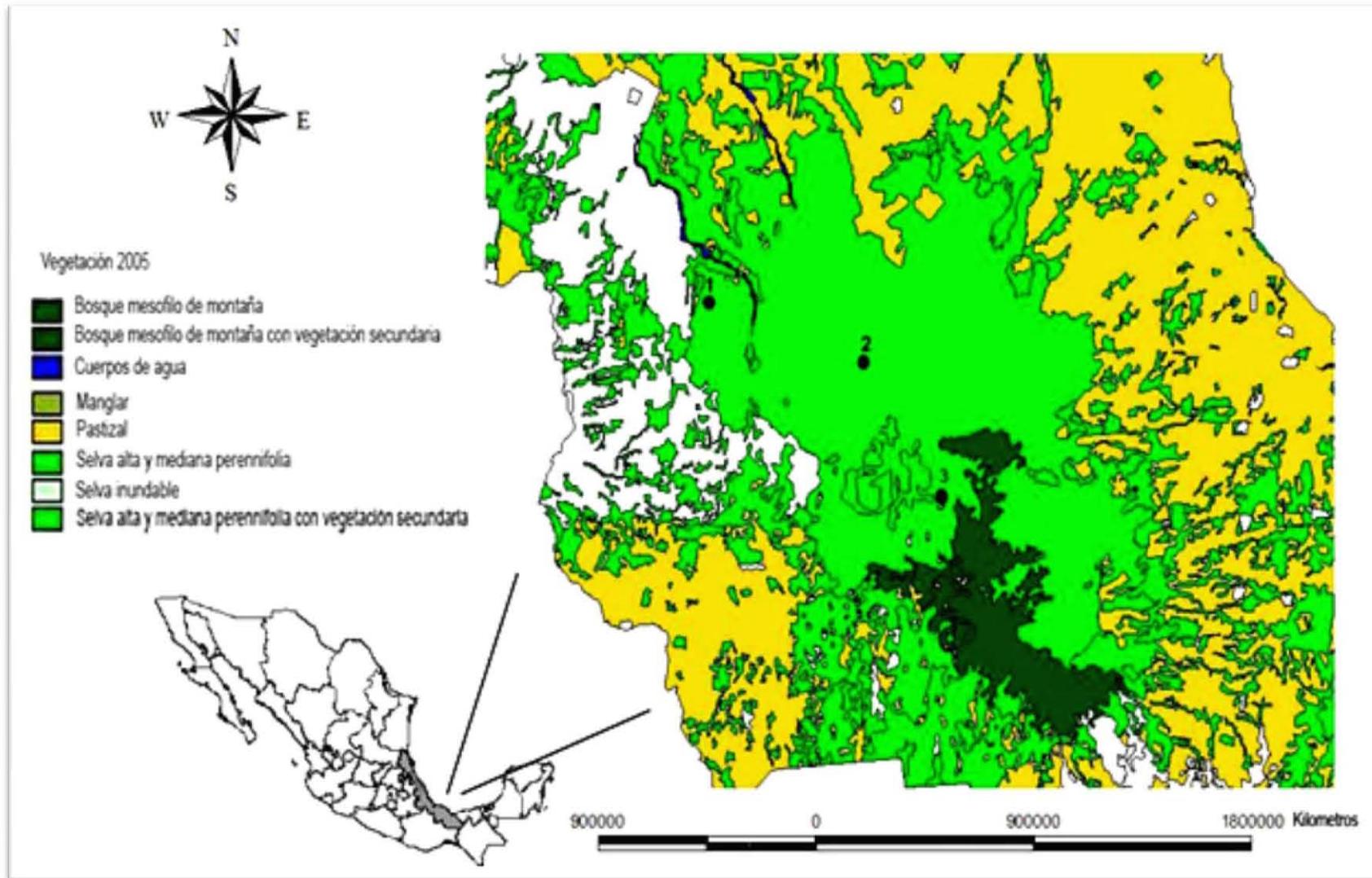


Figura 5. Localidades de muestreo en la zona núcleo de la Sierra de Santa Martha, Veracruz. 1) López Mateos (El Marinero), 2) Península de Moreno y 3) Miguel Hidalgo (El Apompal). (Mapa elaborado con el programa ArcView por Isabel Herrera 2013).

Grabación del paisaje acústico. Se realizó la grabación de cantos matutinos a partir de los primeros rayos del sol, que corresponde a los periodos de mayor actividad acústica, hasta que ésta disminuyó (entre 06:30 y 08:30) ya que las cinco horas posteriores a este evento son consideradas el periodo del día más importante para la detección de especies (Villarreal *et al.* 2006); la grabación de cantos vespertinos se efectuó a partir de que la actividad acústica de las aves iniciaba hasta un poco después del atardecer (entre 16:30 y 18:00), ya que después de esta hora el sonido generado por los insectos impidió obtener grabaciones de buena calidad, ya que enmascara y se sobrepone espectralmente a los sonidos de interés.

Provocación acústica. A partir de la grabación de los coros del amanecer, se realizaron transectos que constan de tres a cinco puntos de provocación acústica, separados entre sí por 200 m en línea recta, en cada punto se llevó a la emisión de tres ciclos de secuencias de llamados coespecíficos (ver Apéndice I), con intervalos de cinco y 10 min de espera; este ciclo se repitió de dos a tres veces, debido a que las respuestas a playback pueden ser diversas y las aves pueden acercarse a la fuente de sonido y no siempre emitir una vocalización como respuesta; solo se tomaron en consideración los registros vocales, ya que aquellas aves que solo se acercaron a la fuente de sonido y no emitieron ninguna vocalización podrían no haberse registrado tampoco visualmente. En algunos puntos de muestreo fue necesario exceder el tiempo de grabación hasta 40 min, puesto que después de 15 minutos transcurridos se seguían obteniendo respuestas.

TRABAJO DE GABINETE

Procesamiento de grabaciones de campo: edición y análisis de audio.

Estandarización del tiempo de grabación. A partir de una copia de cada una de las grabaciones, se realizaron cortes de audio mediante el programa *Adobe Audition 3* (Adobe Systems Incorporated 2007), con una duración de 15 min cada uno, con el objetivo de cuantificar el tiempo de grabación y estandarizar el esfuerzo de muestreo en unidades.

Análisis de espectrogramas. Se realizó mediante el software *Adobe Audition 3* (Adobe Systems Incorporated 2007). Este programa permite observar el espectro de sonido con una buena resolución de imagen, además de editar fragmentos de audio (amplificar, eliminar, caracterizar y reducir el ruido). En las unidades de muestreo se marcaron los sonidos emitidos por aves y se aislaron en archivos nuevos, con el objetivo de crear un acervo sonoro. También se utilizó el programa *Raven Lite 1.0* (Bioacoustics Research Program 2003), para obtener el espectrograma del archivo de sonido en formato PNG y poder comparar características acústicas entre vocalizaciones (Thompson *et al.* 1994).

Identificación de especies. Para llevar a cabo la identificación de los sonidos grabados en campo se consideró la estructura acústica⁷ como base para realizar una comparación espectrográfica, sin embargo también fue necesario comparar de forma

⁷ Es el conjunto de características espectro-temporales como la duración, el ancho de banda (medido en Hz), del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de señal y el patrón de modulación de frecuencia o tono que se refiere a los cambios que ocurren en la frecuencia con respecto al tiempo (Marler 2004).

auditiva los resultados obtenidos, con otros sonidos disponibles en colecciones acústicas especializadas. Conforme se avanzó en el análisis de audio, fue necesario crear catálogos de espectrogramas de especies residentes de selva alta perennifolia, con diversos cantos o llamados por especie; estos catálogos contribuyeron a agilizar el proceso de identificación durante el análisis de espectrografía.

Análisis de datos y aplicación de tratamientos estadísticos.

Análisis de datos. Con base en los datos de presencia-ausencia obtenidos durante el análisis espectrográfico, se cuantificó el número de especies presentes (riqueza específica); ya que la riqueza de especies, es la principal variable descriptiva de la biodiversidad (Jiménez-Valverde y Hortal 2003). Con estos datos se construyó una curva de acumulación de especies para cada tipo de muestreo (grabación del paisaje acústico y playbacks), mediante el programa EstimateS 8.2 (Colwell 2004) y STATISTICA 10 (StatSoft 2010), estas curvas se ajustaron estadísticamente utilizando el modelo de Clench para evaluar la calidad del inventario (Clench 1979, Soberón y Llorente 1991, Moreno y Halffter 2000). Este modelo se eligió debido a que asume que conforme se incrementa el esfuerzo de muestreo, la probabilidad de encontrar una nueva especie al inventario decrece de forma no lineal (Soberón y Llorente 1991). También, se obtuvo el porcentaje de completitud⁸ y el número de especies esperadas mediante estimadores no paramétricos basados en riqueza, con los datos obtenidos con el programa EstimateS 8.2 (Colwell 2004).

⁸ La completitud del inventario (porcentaje de completitud), es el porcentaje de la riqueza estimada que ya ha sido representado por la riqueza observada, permite tener una estimación de la eficacia del tipo y esfuerzo de muestreo, así como de la integridad del inventario; con el objetivo de poder realizar comparaciones válidas entre inventarios (Moreno y Halffter 2000).

Las curvas de acumulación de especies son un análisis útil para estandarizar las estimaciones de riqueza obtenidas mediante trabajos de inventariado, dan fiabilidad y permiten comparar el número de especies obtenido y predecir el total esperado (Moreno y Halfter 2000), además de estimar el esfuerzo mínimo para alcanzar un nivel satisfactorio de muestreo (Soberón y Llorente 1991, Jiménez-Valverde y Hortal 2003). Representan el incremento en el número de especies de acuerdo al esfuerzo de muestreo (Moreno 2001) y relacionan el tamaño esperado del inventario y su variación con el tiempo dedicado a la colecta (Soberón y Llorente 1991).

Rarefacción. Debido a que el tiempo de grabación no fue uniforme, a causa de diferentes factores como el alto grado de humedad o lluvia, que puede dañar los micrófonos o el ruido ambiental (incluyendo vocalizaciones de mamíferos o sonidos emitidos por insectos); se aplicó este método de estandarización de esfuerzo de muestreo, para la grabación del paisaje sonoro y para el uso de playbacks; ya que permite hacer comparaciones de número de especies cuando el tamaño de las muestras no es igual, además de que calcula el número esperado de especies de cada muestra, si todas fueran reducidas a un tamaño estándar o bien en caso de que todas las muestras presenten el mismo número de individuos capturados (Moreno 2001). Toma como medida general el tamaño de la muestra más pequeña, dejando a un lado los datos extra de muestras con mayor esfuerzo de muestreo, por lo que el límite máximo de extrapolación por rarefacción es determinado por el tamaño de la muestra más pequeña (Jiménez-Valverde y Hortal 2003).

RESULTADOS

En este trabajo registraron más de 1,103 vocalizaciones de 124 especies de las 178 aves residentes reportadas para este tipo de hábitat según Schaldach y Escalante-Pliego (1997), de las cuales sólo fue posible identificar 80 especies pertenecientes a 11 órdenes y 27 familias (Apéndice II y III).

El esfuerzo total de muestreo fue de 12 días en los cuales se obtuvieron 21 hrs de cantos matutinos y vespertinos con un total de 78 especies y 86 unidades de muestreo. Mientras que para playbacks se grabaron 23 hrs de audio logrando registrar 98 especies en 73 unidades; sumando un total de 44 hrs de grabación netas.

Como resultados principales también se obtuvo de cada una de las especies, pequeños segmentos de audio (cortes de vocalizaciones), editados y con sus datos de colecta y grabación⁹, debidamente georreferenciados y espectrogramas correspondientes.

En total se obtuvieron 580 segmentos de audio, donde se consiguió representar una gran diversidad de sonidos vocales en particular de la especie *Henicorhina leucosticta* y no vocales como por ejemplo: el tamborileo de pájaros carpinteros (Familia: Picidae) y el sonido producido por las alas de diferentes especies de colibríes (Familia: Trochilidae), principalmente del colibrí *Amazilia candida*. Estos datos formaran parte de los primeros registros sonoros de la Colección Nacional de Aves del Instituto de Biología de la UNAM.

⁹ Se consideró si la vocalización o sonido mecánico fue resultado de una respuesta a playback.

El análisis de las curvas de acumulación de especies ajustadas según la ecuación de Clench (Clench 1979, Moreno y Halffter 2000, Figura 6 y 7), arrojaron los siguientes valores para cada tipo de muestreo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del ajuste al modelo de Clench (Clench 1979, Moreno y Halffter 2000).

	a	b	a/b	R ²	% de completitud
Paisaje acústico	95.595	0.0618	90.5339	0.9917	86
Playbacks	5.1127	0.0396	129.1087	0.9688	75

Los coeficientes de correlación (R²) sugieren que los resultados obtenidos se ajustan bien al modelo de Clench; sin embargo el porcentaje de completitud indica que se espera una mayor cantidad de especies por detectar en ambos casos, pero mayor aún mediante el uso de playbacks donde se registraron 98 especies y un 75% de completitud. La calidad del inventario según este modelo es buena aun cuando no se reporta más del 90% de la avifauna que habita en este tipo de vegetación.

Con respecto al porcentaje de completitud basado en estimadores no paramétricos, los valores más altos se obtuvieron con Bootstrap con un 89.87% y 86.44% y con Chao2 con un 84.7% y 77.01% de completitud, en la grabación del paisaje acústico y mediante el uso de playbacks respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de completitud y número de especies esperado.

	Paisaje acústico		Playbacks	
	%	S esperada	%	S esperada
ICE	84,21	92	73,19	133
CHAO2*	84,7	92	77,01	127
JACK1	80,59	96	74,5	131
BOOTSTRAP*	89,87	86	86,44	113

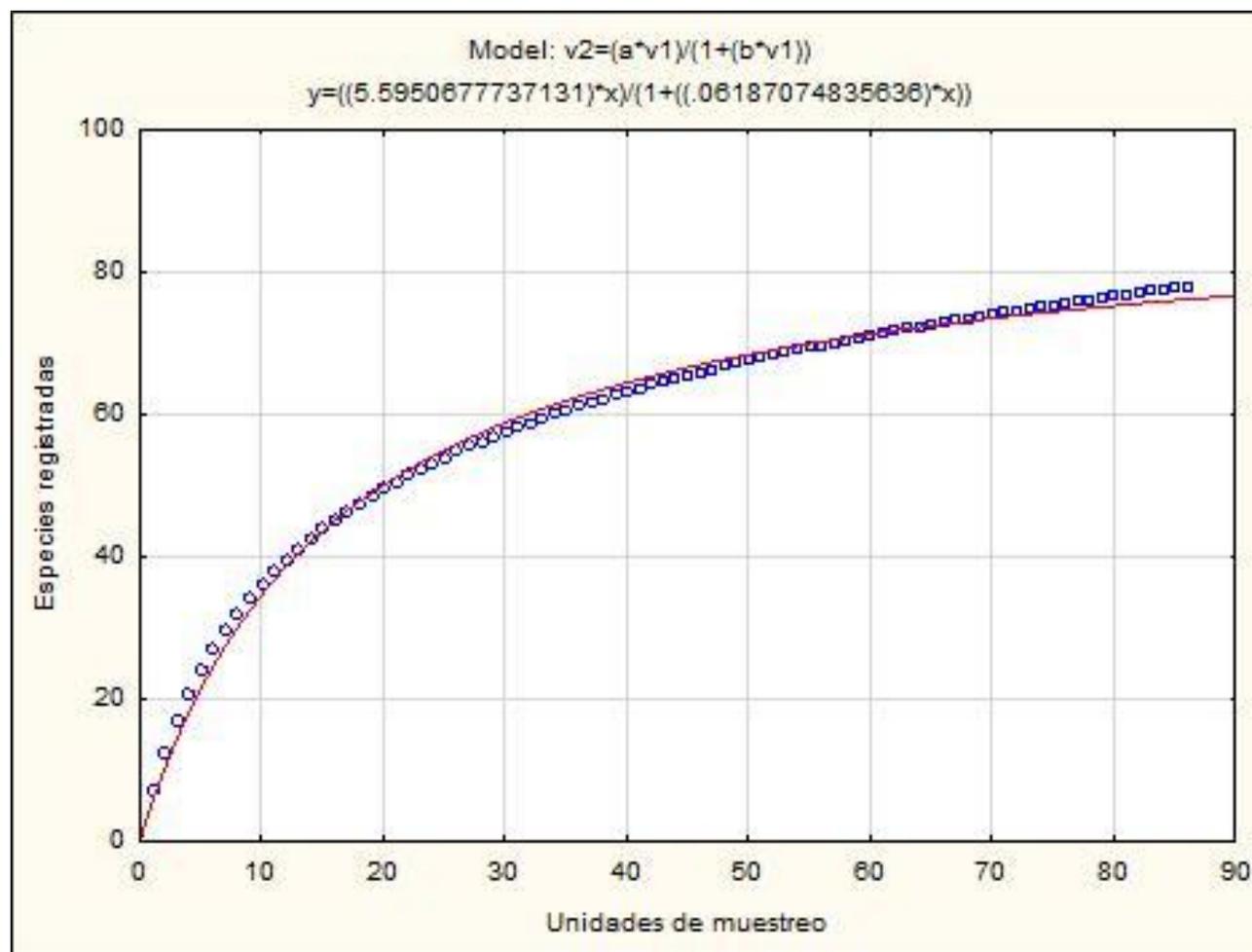


Figura 6. Curva de acumulación de especies registradas mediante la grabación del paisaje acústico, según el modelo de Clench (Clench 1979, Moreno y Halfter 2000).

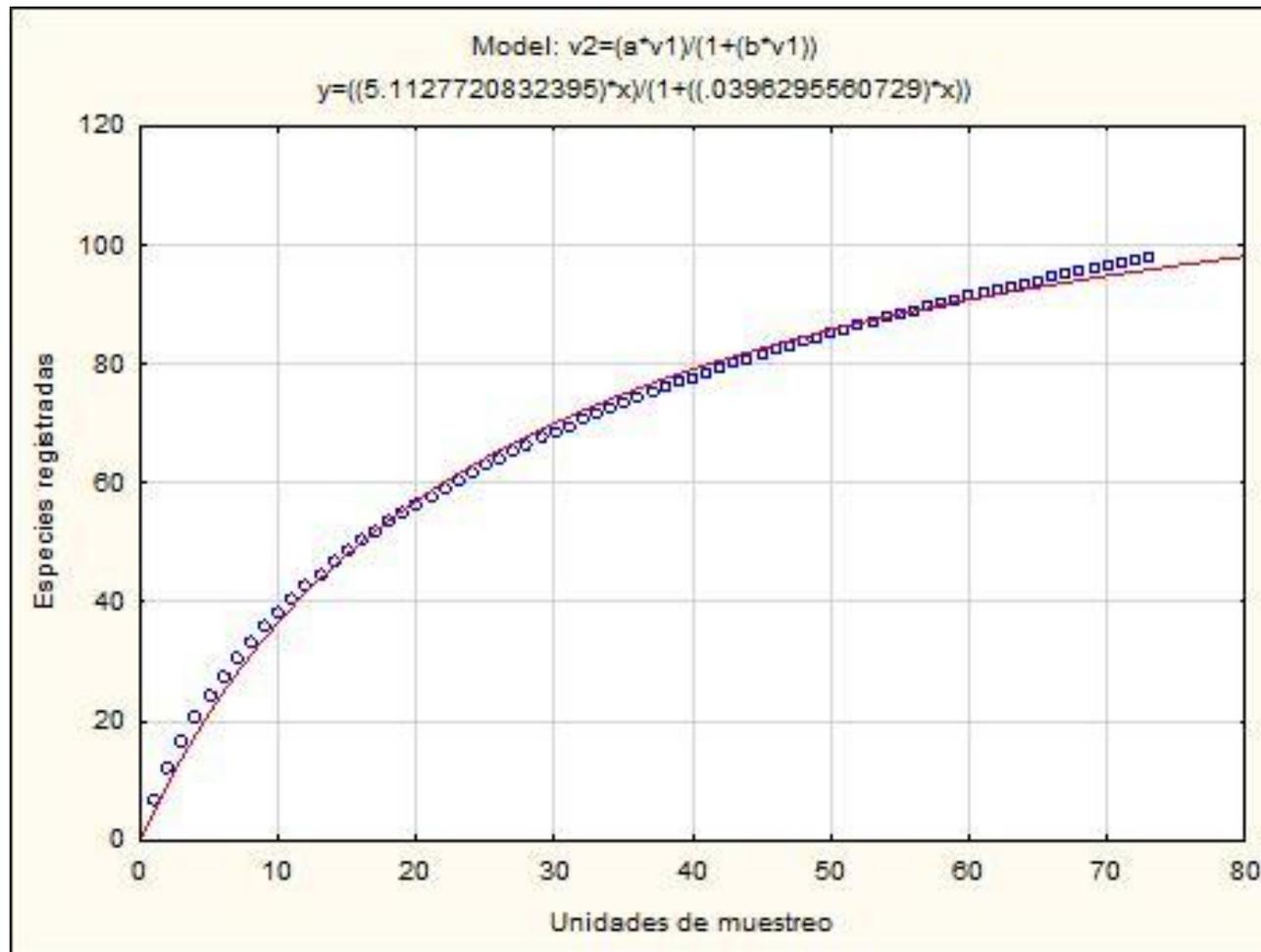


Figura 7. Curva de acumulación de especies registradas mediante el uso de playbacks, según el modelo de Clench (Clench 1979, Moreno y Halffter 2000)

En general se obtuvo una mayor riqueza de especies y mayor cantidad de registros exclusivos mediante el uso de playbacks (Cuadro 5), aunque el número de órdenes y familias registradas es casi el mismo para los dos tipos de muestreo. Sin embargo, el número de registros exclusivos no identificados mediante playbacks es mucho mayor en comparación con el que se obtuvo mediante el registro del paisaje acústico.

Cuadro 5. Información obtenida por tipo de muestreo.

	Órdenes	Familias	Especies	Especies no determinadas	Registros exclusivos	Registros exclusivos no determinados
Paisaje acústico	10	24	78	16	26	11
Playbacks	10	25	98	35	46	28

Las curvas de rarefacción, también corroboran esta información, ya que la grabación del paisaje acústico resultó con una riqueza de especies significativamente menor en comparación con el registro mediante el uso de playbacks (Figura 8), esto a pesar de que se obtuvo una mayor cantidad de registros vocales en la grabación del paisaje sonoro.

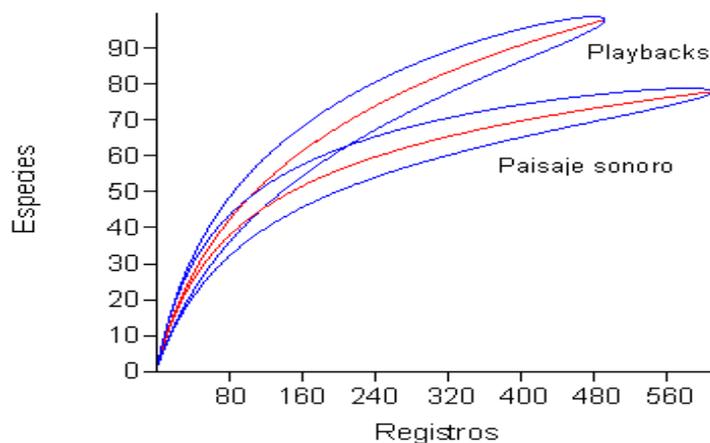


Figura 8. Curvas de rarefacción de especies de aves registradas mediante la grabación del paisaje acústico y el uso de playbacks.

La grabación del paisaje sonoro, donde se trató de grabar la mayor cantidad de sonidos posibles desde el suelo hasta el dosel, fue primordial para la detección de aves de las familias Tinamidae, Bucconidae, Dendrocolaptidae y Tyrannidae, ya que muchas de estas especies vocalizan en los primeros cinco minutos del amanecer y raramente lo hacen después de este momento, al igual que las aves de hábitos nocturnos como los búhos que por lo general vocalizan al amanecer y al atardecer o durante las noches de luz de luna (Villarreal *et al.* 2006). Sin embargo, el orden taxonómico mejor representado fue el orden Passeriformes con un total de 44 especies, que representan el 55% del total de aves identificadas, que incluye 14 familias (Figura 9), de las cuales, la familia Tyrannidae fue la mejor representada (nueve especies). De las aves no Passeriformes, los ordenes más diversos fueron: Apodiformes con 12.50% (10 especies), Piciformes con 8.75% (siete especies distribuidas en tres familias), Columbiformes con 6.25% (cinco especies) y Trogoniformes con 3.75% (tres especies).

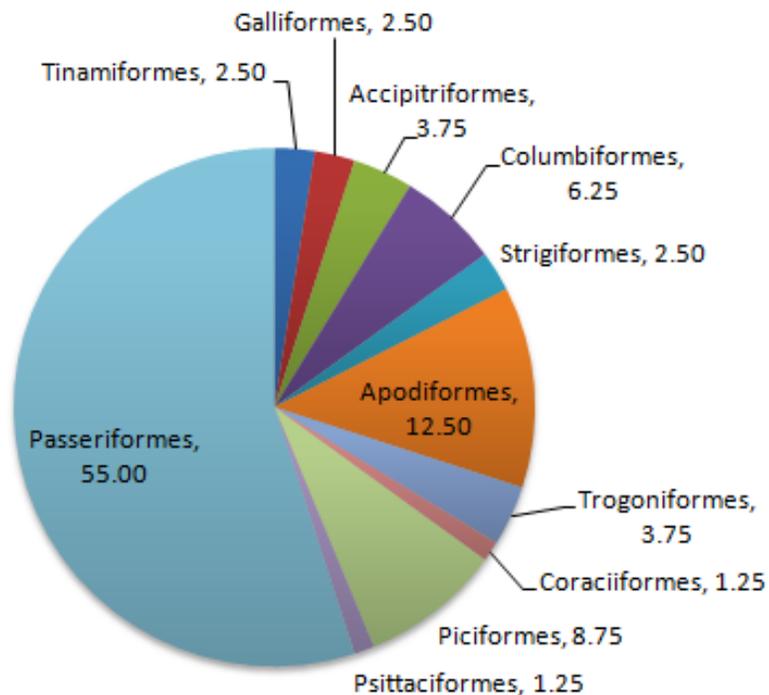


Figura 9. Porcentaje de especies identificadas por orden taxonómico.

Del total de especies identificadas, algunas sólo fueron registradas mediante un método de muestreo; sin embargo, con respecto a la búsqueda de especies mediante playbacks, únicamente se confirmó la presencia de 10 especies (Cuadro 6), incluso algunas fueron observadas cercanas a la fuente de sonido durante la emisión de playbacks pero no emitieron ninguna vocalización, por lo que no fueron consideradas para el análisis de diversidad, pero fueron incluidas en el listado de especies registradas mediante playback (Cuadro 6), como es el caso de *Crypturellus soui*, *Crax rubra* y *Leucopternis albicollis*.

Cuadro 6. Listado de especies registradas mediante playbacks. Once especies confirmadas de 51 buscadas (ver Apéndice I).

Orden	Familia y especie	Abundancia ¹⁰	Paisaje acústico ¹¹	Playback
Tinamiformes	Tinamidae			
	<i>Tinamus major</i>	rara	X	X
	<i>Crypturellus soui</i>	rara		X
	<i>Crypturellus boucardi</i>	algo común	X	X
Galliformes	Cracidae			
	<i>Penelope purpuracens</i>	muy poco común	X	X
	<i>Crax rubra</i>	muy poco común		X
	Odontophoridae			
	<i>Odontophorus guttatus</i>	poco común	X	X
Accipitriformes	Accipitridae			
	<i>Leucopternis albicollis</i>	algo común		X
Apodiformes	Trochilidae			
	<i>Hylocharis eliciae</i>	muy rara		X
Passeriformes	Emberizidae			
	<i>Arremon aurantiirostris</i>	muy rara		X
	Cardinalidae			
	<i>Granatellus sallaei</i>	muy rara	X	X

¹⁰ Según Schaldach y Escalante-Pliego (1997).

¹¹ Especies registradas también durante la grabación del paisaje acústico.

Con respecto al orden Passeriformes, se obtuvo una mayor diversidad de especies mediante el uso de playbacks que corresponde a un 10.51% más que en la grabación del paisaje acústico (Figura 10 y 11). Por lo que en este método se registró un total de 55% de especies de este orden.

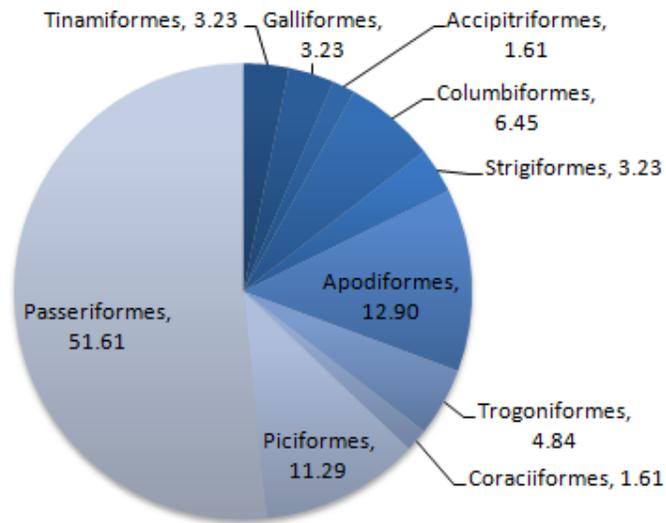


Figura 10. Porcentaje de especies por orden taxonómico, registradas mediante la grabación del paisaje acústico.

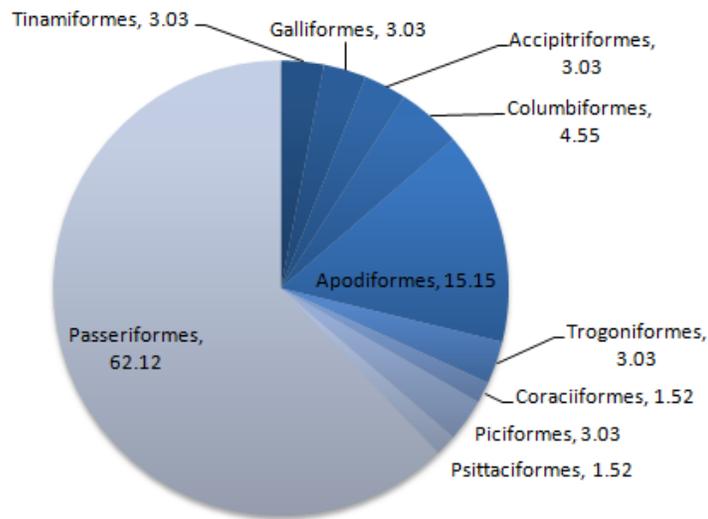


Figura 11. Porcentaje de especies por orden taxonómico, registradas mediante el uso de playbacks.

Aparentemente no existe gran diferencia entre la diversidad de aves registradas del orden Passeriformes en los dos tipos de muestreo (Figuras 12 y 13), sólo dos familias fueron registradas únicamente mediante respuesta a playbacks: Pipridae (*Pipra mentalis*) y Corvidae (*Psilorhinus morio* y *Cyanocorax yncas*).

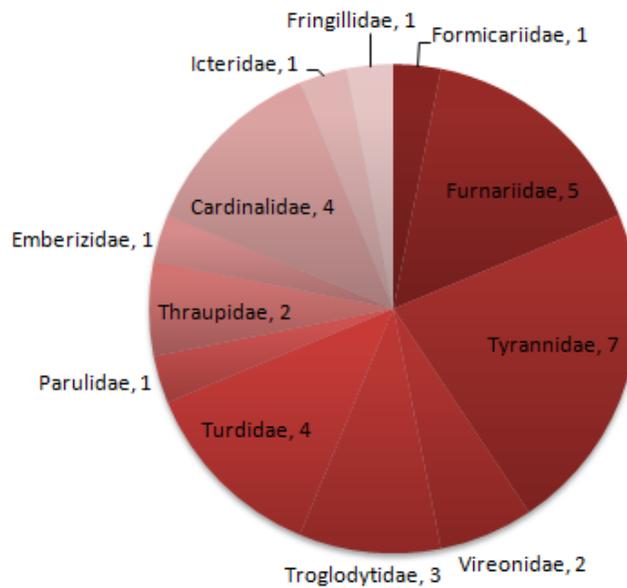


Figura 12. Número de especies registradas por familia del orden Passeriformes, mediante la grabación del paisaje acústico.

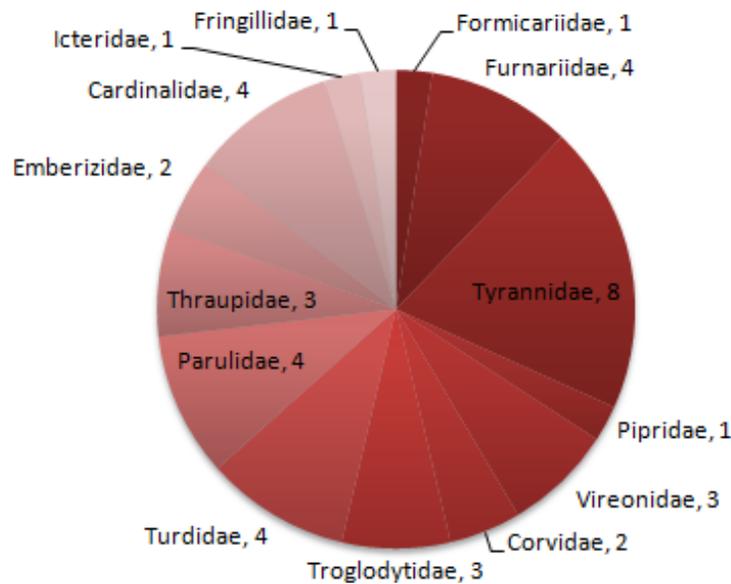


Figura 13. Número de especies registradas por familia del orden Passeriformes, mediante el uso de playbacks.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo, esta técnica permitió el registro vocal de 124 especies de aves residentes de selva alta perennifolia de las 178 especies reportadas por Schaldach y Escalante-Pliego (1997); que corresponde al 70% de las aves que viven en este tipo de hábitat y aproximadamente el 40% del total de especies residentes reportadas en los diversos tipos de vegetación que conforman Los Tuxtlas, en un lapso de 44 hrs de grabación dentro de 12 días de trabajo de campo, por lo que resultó ser una técnica eficiente para el registro de especies.

A pesar de que las curvas de acumulación de especies no alcanzan a estabilizarse en ninguno de los dos casos, los valores de los coeficientes de determinación (R^2) y de la pendiente de las curvas, sugieren que los datos se ajustan bien a la función y que se logró obtener un registro bastante completo y fiable (Jiménez-Valverde y Hortal 2003). Sin embargo, se espera una mayor cantidad de registros nuevos para el caso de playbacks, en comparación con la grabación del paisaje sonoro; ya que para este caso, el porcentaje de completitud más alto fue de 86.44% (Bootstrap) y el más bajo, pero también más fiable fue de 77.01% (Chao2¹²). Se debe considerar que mediante el uso de playbacks se obtuvo una cantidad significativamente mayor de especies (98 spp.) y de registros exclusivos (46 spp. y 28 sonidos no identificados) de aves que solo vocalizaron una o dos veces y cuyo espectro de sonido no es claro (debido

¹² Estos estimadores se basan solamente en la presencia o ausencia, de los cuales Chao2 es más riguroso y más confiable que Bootstrap que parte de la proporción de unidades de muestreo que contienen a cada especie (Moreno 2001). Chao2 se basa en la proporción de singletons/doubletons y uníques/duplicates (especies raras), para estimar el número total de especies, por lo que se considera que este estimador es más fiable (Moreno 2001).

principalmente a la distancia a la que se encontraba el ave), por lo que el número de registros no identificados es alto. Cabe mencionar que el uso de playbacks, que básicamente constituye una intrusión simulada a través de un llamado o canto coespecífico, puede ayudar a confirmar la presencia de muchas aves territoriales y sus respuestas pueden ser diversas incluyendo comportamientos de agresividad, acercándose a la fuente de sonido, o bien incrementando su tasa de canto; haciéndolas mucho más detectables (Tubaro 1999).

La respuesta a un canto o llamado no es igual en todas las aves, sino que está influenciada en gran parte por la biología de la especie e incluso la época del año en que se realice (Villarreal, *et al* 2006). Por lo que otra de las razones por las cuales no se logró identificar el 100% de las especies registradas mediante este método, es que las aves pueden utilizar diferentes vocalizaciones o alterar temporalmente el patrón de su canto, cuando responden a las grabaciones (playbacks) que escuchan¹³ (Falls 1992, Budney y Grotke 1997).

Mediante el análisis del paisaje acústico y la búsqueda con playbacks se obtuvo un registro vocal de *Leptodon cayenensis* durante la grabación del paisaje matutino, así como el avistamiento y vocalización de *Buteogallus urubitinga* como respuesta a playback de un ave del orden Galliformes; estas especies de la familia Accipitridae no fueron registradas en el trabajo realizado por De Labra (2010); además se lograron obtener vocalizaciones de *Geotrygon montana* y *Notharchus hyperrhynchus* reportados como probables residentes (R?) e *Hylocharis eliciae*, como posible migrante intratropical (S?).

¹³ Por esta razón, es de suma importancia indicar en la grabación, las vocalizaciones del ave que son respuesta a un playback.

En general, los resultados obtenidos a partir de las curvas de acumulación de especies y los porcentajes de completitud del inventario sugieren que Los Tuxtlas y en particular la Sierra de Santa Martha son hábitats altamente diversos; la avifauna de esta región tropical es una de las más ricas de la parte norte del Neotrópico y por ende una zona prioritaria para la conservación ya que su posición representa el límite boreal extremo de la selva tropical en el continente formando parte de una de las principales rutas migratorias continentales (Rappole *et al.* 1997, Winker 1997).

Durante el trabajo de campo, independientemente del tipo de técnicas que se esté utilizando, la distinta actividad diaria de las especies puede provocar que la hora a la que se muestreó afecte la probabilidad de detectar o capturar una especie en particular (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Esta es también influida por otros factores como el ruido ambiental, la sobreposición de frecuencias, la hora del día, la propagación del sonido, condiciones ambientales (temperatura, humedad y viento), hábitos, entre otros múltiples factores (Rempel *et al.* 2005). Incluso durante la emisión de playbacks existen muchos elementos que influyen en la respuesta de las aves, ya que la calidad de audio o incluso del equipo de reproducción pueden propiciar que no se tengan los resultados esperados o bien que la distancia a la que se encuentra un ave y a la que su voz es detectable y reconocible por congéneres¹⁴, interfiera en su detección o en la respuesta a una intrusión simulada (Marler 2004). Es necesario realizar análisis que tomen en consideración la variación de la probabilidad de detección dependiente de la vegetación (Celis-Murillo *et al.* 2009).

¹⁴Esto puede verse influido principalmente por la amplitud, sensibilidad del receptor, atenuación y degradación durante la transmisión del sonido y la interferencia del ruido ambiental (Marler 2004).

Los problemas que surgen durante el procesamiento de audio en conjunto con la riqueza de sonidos y sus características acústicas, así como la enorme variación del canto, particularmente en el caso de las aves del orden Passeriformes, complican la tipificación de sonidos vocales; por lo que es necesario contar con bases de datos más completas y confiables, que permitan realizar comparaciones, agilizando así la identificación del emisor.

Por otro lado, el uso de técnicas de bioacústica para realización de censos y monitoreos ofrece diferentes ventajas, como por ejemplo (Tubaro 1999, Rempel *et al.* 2005):

- Registrar una mayor cantidad de especies, con una menor inversión en esfuerzo de muestreo¹⁵.
- Detección de especies a largas distancias.
- Particularmente útil y económico para estimar la biodiversidad en hábitats selváticos.
- Pueden realizarse grabaciones en ausencia de un especialista y posteriormente efectuar la identificación de especies.
- Obtener y archivar un registro permanente.
- Resolver ambigüedades en la identificación de especies.
- Registro de especies de hábitos conspicuos, nocturnas o de dosel.
- Fomentar los censos de aves, a pesar de la falta de observadores expertos.
- Los resultados obtenidos pueden servir como base para efectuar monitoreos periódicos en regiones poco accesibles o remotos.

¹⁵ En temporada de cortejo donde las aves y particularmente los machos, son intensamente vocales (Tubaro 1999).

- Incentivar el estudio de aves de zonas tropicales, ya que la estructura y complejidad del hábitat limita la observación directa y su identificación.
- El uso de playbacks puede ser una herramienta muy útil para la captura selectiva y la identificación visual, con un mínimo de pérdida de tiempo.

Este tipo de registros biológicos forman parte de un conjunto de datos complejos y vitales, para el diseño, desarrollo e implementación de sistemas de información sobre la biodiversidad y constituyen también un elemento primordial para su caracterización; por lo que contribuir con el registro y catalogación de datos sonoros, tiene un importancia comparable con la de los bancos de semillas, herbarios, museos y colecciones zoológicas (González-García 2004).

CONCLUSIONES

- Mediante la grabación del paisaje acústico durante el amanecer y el atardecer en conjunto con el uso de playbacks se logró registrar un total de 124 especies de aves residentes de selva alta perennifolia, de las cuales se identificaron 80 especies que pertenecen a 11 ordenes y 27 familias, siendo el orden Passeriformes el mejor representado con un total de 14 familias y 44 especies.
- El uso de playbacks fue más exitoso para la detección y registro vocal de especies, con este método se logró registrar un total de 98 especies de aves; cabe resaltar que se obtuvo un 10.51% más de especies del orden Passeriformes en comparación con los resultados obtenidos mediante la grabación del paisaje sonoro.
- Mediante el uso de llamados especie-específicos, se logró confirmar la presencia de 10 especies de aves raras, residentes de selva alta perennifolia en la Sierra de Santa Martha, Los Tuxtlas, de las 51 buscadas.
- Se obtuvo el registro vocal de 80 especies de aves, dentro de 580 cortes de audio, donde se representa una gran diversidad de sonidos vocales y no vocales que formaran parte de los primeros registros bioacústicos de la Colección Nacional de Aves del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

CONTRIBUCIÓN A LA COMUNIDAD

Se desarrollara una base de datos sonora, con vocalizaciones de la avifauna de la Sierra de Santa Martha, Los Tuxtlas; elaborada a partir de cortes de audio con sonidos vocales de algunas de las especies de aves más representativas, acompañado de una guía informativa sobre la avifauna de la región y las particularidades que hacen a la Sierra de Los Tuxtlas, un área prioritaria para el estudio y conservación de las aves. Estos serán entregados a los ejidos que amablemente colaboraron en la realización del trabajo de campo y la logística de los campamentos, cuya participación fue esencial para que este proyecto se llevara a cabo. Con el objetivo de bríndales información científica y confiable, que les permita fortalecer e incrementar el ecoturismo en la región; además de invitar a reflexionar sobre el uso y aprovechamiento responsable de sus recursos naturales.

RECOMENDACIONES

- Dividir el tiempo de grabación (esfuerzo de muestreo) en secciones de audio con menor duración, agiliza el análisis de espectrografía y disminuye la probabilidad de pasar inadvertidos los sonidos grabados a mayor distancia o de bajas o altas frecuencias que no sean tan evidentes visualmente en el espectro de audio. Realizar estos cortes no afecta la dependencia lineal entre el esfuerzo de muestreo y el número de especies registradas (Soberón y Llorente 1991).
- Cuando se este grabando, se debe procurar producir la menor cantidad de ruido posible, pero es apropiado realizar pequeños comentarios sobre la especie que se graba y su comportamiento.
- Realizar a la par de las grabaciones del paisaje acústico, grabaciones con un micrófono unidireccional y obtener los espectrogramas correspondientes, podría contribuir a la rápida identificación de especies, cuando se realizan monitoreos acústicos y sobre todo cuando se estudia un región cuya avifauna es muy diversa; ya que las bases de datos disponibles y colecciones especializadas no se encuentran completas, lo que representa un problema para la determinación de especies.

LITERATURA CITADA

- Adobe Systems Incorporated. 2007. Adobe ® Audition™. User Guide for Windows®
- American Ornithologists' Union [AOU]. 2012 Check-list of North American birds. <http://www.aou.org/checklist/north/index.php>. Consultado el <14 de Enero 2013>.
- Andrle, F.R. 1966. North American migrants in the Sierra de Tuxtla of southern Veracruz, México. *The Condor*. (68):177-184.
- Andrle, R.F. 1967. Birds of the Sierra de Tuxtla in Veracruz, Mexico. *Wilson Bull.* 163-187.
- Baptista, L.F. y S.L.L. Gaunt. 1994. Advances in the studies of avian sound Communications. *The Condor*. 96:817-830.
- Baptista, L.F. y S.L.L. Gaunt. 1997. Bioacoustics as a tool in conservation studies. En: Behavioral Approaches to Conservation in the Wild: 212-242 (J. R. Clemmons and R. Buchholz, Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Baptista, L.F y J.E. Martínez-Gómez. 2002. La investigación bioacústica de las aves del Archipiélago de Revillagigedo: un reporte de avance. *Huitzil Revista Ornitológica Mexicana*. 3:33-41.
- Baptista, L.F. y P.W. Trail. 1992. The role of song in the evolution of passerine diversity. *Syst. Biol.* 41(2):242-247.
- Bioacoustics Research Program. 2003. Raven Lite: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.0) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. Available from <http://www.birds.cornell.edu/raven>.
- Boncoraglio, G. y N. Saino. 2007. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology*. 21. 134-142.

- Bojorges, C., B.J. 2006. Riqueza de especies de aves: propuestas metodológicas para su evaluación y estimación. *Ciencia y Mar*. X (30): 59-64.
- Brackenbury, J. H. 1982. The Structural Basis of Voice Production and Its Relationship to Sound Characteristics. En: Kroodsma, D.E., E.H. Miller y H. Quillet. (Edits). 1982. *Acoustic Communication in Birds. Production, Perception, and Desing Features of Sound*. Vol. 1. ACADEMIC PRESS, INC. New Yorck. pp. 53-73.
- Budney, G.F. y R.W. Grotke. 1997. Techniques for Audio Recording Vocalizations of Tropical Birds. *Ornithological Monographs*. 48:147-163.
- Catchpole, C.K., y P.J.B. Slater. 2008. Bird song. Biological themes and variations. Second Ed. Cambridge University Press. USA. pp 335.
- Celis-Murillo, A., J.L. Deppe y M.F. Allen. 2009. Using soundscape recordings to estimate bird species abundance, richness, and composition. *J. Field Ornithol.* 80(1):64-78.
- Clench, H. 1979. How to make regional list of butterflies: some thoughts. *Journal of the Lepidopterists Society* 33:216-231.
- Coates-Estrada, R., A. Estrada, D., Pashley. y W. Barrow. 1985. Lista de las aves de la Estación de Biología Los Tuxtlas. Instituto de Biología. UNAM. pp 41.
- Colwell, R.K. 2004. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Disponible en: <http://vicaroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2006. Programa de conservación y manejo. Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Dirección General de Manejo para la Conservación y la Dirección Regional Centro y Golfo, CONANP. pp 285.
- Dabelsteen, T. y N. Mathevon. 2002. Why do songbirds sing intensively at dawn? A test of the acoustic transmission hypothesis. *Acta Ethologica*. 4:65–72.

- Derryberry, E. P. 2007. Evolution of bird song affects signal efficacy: an experimental test using historical and current signals. *Evolution*. 61(8):1938-1945.
- De Labra, M.A., P. Escalante., T.C. Monterrubio Rico y R. Coates-Estrada. 2010. Hábitat, abundancia y perspectivas de conservación de psittacidos en la Reserva de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ornitología Neotropical*. (21): 599–610.
- De Labra, M.A. 2010. Situación actual y dinámica espacio-temporal de cuatro familias de aves en Los Tuxtlas, México. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pp 58.
- Duran, L. y L. Neyra. 2010. La diversidad biológica de México: ecosistemas, especies y genes. En: Toledo, V.M. (coord.) 2010. La biodiversidad de México. Inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural. Conaculta. México. pp. 12-36
- Estrada, A., R. Coates-Estrada y D. A. Meritt. 1997. Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, México. *Biodiversity and Conservation*. 6:19-43.
- Espinosa, D., S. Ocegueda., C. Aguilar., Ó. Flores y J. Llorente-Bousquets. 2008. El conocimiento Biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En: Capital natural de México. Vol 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México. pp. 33-65.
- Faaborg, J. y S. B. Chaplin. 1982. Ornithology : An ecological approach. Englewood cliffs, New Jersey:Prentice-Hall. pp 470.
- Falls, B.J. 1992. Playback: a historical perspective. En: McGregor P. K. (Editor). Playback and Studies of Animal Communication. Plenum Press, New York. pp. 11-33.
- Gill, F.B. 2007. Ornithology. Third Ed. W. H. Freeman and Company. New York, NY. pp. 215-242.

- Guevara, S., J. Laborde., D. Liesenfeld y O. Barrera. 1997. Potrerros y ganadería. En: González S. E., R. Dirzo y R. C. Vogt (Editores), *Historia Natural de Los Tuxtlas*. Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. pp 533-540.
- González, C. y J.F. Ornelas. 2005. Song structure and microgeographic song variation in wedge-tailed sabrewings (*Campylopterus curvipennis*) in Veracruz, México. *The Auk* 122(2):593–607.
- González-García, F. 2004. The Mexican Bird Sound Library. En: Ranf R. 2004. Natural sound archives: past, present and future. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 76(2):455-465.
- Ibarra-Manríquez, G., M. Martínez., R. Dirzo y J. Núñez-Farfán. 1997. La vegetación. En: González S. E., R. Dirzo y R. C. Vogt (Editores), *Historia Natural de Los Tuxtlas*. Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. pp. 61-85.
- Isler, M.L., P.R. Isler y B.M. Whitney. 1998. Use of vocalizations to establish species limits in antbirds (Passeriformes:Tamnophilidae). *The Auk*. 115(3):577-590.
- Isler, M.L., P.R. Isler y B.M. Whitney. 1999. Species limits in antbirds (Passeriformes: Tamnophilidae): The mymotherula surinamensis complex. *The Auk*. 116(1):83-96.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*. 8:151 – 161.
- MacGregor, P.K., C.K. Catchpole., T. Dalbelsteen., J.B. Falls., L.Fusani., H.C. Gehardt., F. Gilbert., A.G. Horn., G.M. Klump., D.E. Kroodsma., M. Lambreschs., K.E. McComb., D.A. Nelson., I.M. Pepperberg., L. Radcliffe., W.A. Searcy. y D.M. Weary. 1992. Design of playback experiments: the thornbridge hall nato arw consensos. En: MacGregor P. K. (Editor). *Playback and Studies of Animal Communication*. Plenum Press, New York. pp. 1-9.

- Marler, P. 2004. Science and birdsong: the good old days. En: Marler P. y Slabbekoorn H. (Editores), *Nature's Music. The Science of Birdsong*. Elsevier. USA. pp. 1-19.
- Marler, P y M. Tamura. 1964. Culturally transmitted patterns of vocal behavior in sparrows. *Science, New Series*. 146(3650):1483-1486.
- Martín-Del Pozo, A.L. 1997. Geología. En: González S. E., R. Dirzo y R. C. Vogt (Editores), *Historia Natural de Los Tuxtlas*. Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. pp. 571–588.
- Mayer P. R. F. 1962. Estudio vulcanológico de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Mittermeier, R.A y C. Goettsch. 1992. La importancia de la diversidad biológica en México. En: Sarukhán J., R. Dirzo. (Compiladores) 1992. *México ante los retos de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. DF. pp 63-73.
- Moreno, E., C. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. Zaragoza, pp. 84.
- Moreno, E.C. y G. Halffter. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*. 37:149-158.
- Morton, E. S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *Am. Nat.* 109:17–34.
- Mundinger, P. C. 1982. Microgeographic and macrogeographic variation in the acquired vocalizations of birds. En: Kroodsma D. E., Miller E. H. (Edits). *Acoustic communication in birds*, New York, NY: Academic Press. Vol. 2. pp. 147–208.
- Nottebohm, F., A. Alvarez-Buylla., J. Cynx., J. Kirn., C.Y. Ling., M. Nottebohm., R. Suter., A. Tolles. y H. Williams. 1990. Song Learning in Birds: The Relation between Perception and Production. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*. 329:115-124.

- Nowicki, S., S. Peters., y J. Podos. 1998. Song Learning, Early Nutrition and Sexual Selection in Songbirds. *Amer. Zool.* 38:179-190.
- Nowicki, S. y P. Marler.1988. How do birds sing? *Music Perception.* 5(4):391-426.
- Paré, O. L., E. Velázquez., R. Gutiérrez., F. Ramírez., A. Hernández., M. P. Lozada., H. Perales y J. L. Blanco. 1997. La Reserva Especial de la Biosfera Sierra de Santa Marta, Veracruz: diagnóstico y perspectiva. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Sociales. Proyecto Sierra de Santa Marta.
- Payne, R. B., 1986. Bird songs and avian systematics. En: Johnston, R. F. (Edits). *Current Ornithology.* Vol. 3. Plenum Press. Nueva York. pp. 87-114
- Podos, J. 2001. Correlated evolution of morphology and vocal signal structure in Darwin's finches. *Nature.* 409:185-188.
- Podos, J., S.K. Hubert y B. Taft., 2004. Bird song: The interface of evolution and mechanism. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 35:55-87.
- Puebla-Olivares, F. y K. Winker. 2004. Dieta y dispersión de semillas por dos especies de tangara (*Habia*) en dos tipos de vegetación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ornitología Neotropical.* 15:53-64
- Ranf, R. 2004. Natural sound archives: past, present and future. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 76(2):455-465.
- Rappole J. H., M.A. Ramos., K. Winker., R.J. Ochlenschlager y D.W. Warner. 1997. Aves migratorias neárticas. En: González S. E., R. Dirzo y R. C. Vogt (Edits), *Historia Natural de Los Tuxtlas.* Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. pp. 533-540.
- Rappole, J.H., E.S. Morton, y M.A. Ramos. 1992. Density, philopatry, and population estimates for songbird migrants wintering in Veracruz, pp. 337–344. En: Hagan III J. M. y D. W. Johnston (Edits). *Ecology and conservation of Neotropical migrant landbirds.* Smithsonian Institution Press, Washington, DC.

- Raposo, M.A. y E. Höfling. 2003. Overestimation of vocal characters in Suboscine taxonomy (Aves: Passeriformes: Tyranni): causes and implications. *Lundiana* 4:35–42.
- Rempel, R.S., K.A. Hobson., G. Holborn., S.L. Van Wilgenburg y J. Elliot. 2005. Bioacoustic monitoring of forest songbirds: interpreter variability and effects of configuration and digital processing methods in the laboratory. *J. Field Ornithol.* 76(1):1-11.
- Ríos-Chelén, A.A. 2009. Bird song: the interplay between urban noise and sexual selection. *O. Ecol.* 13(1): 153-164
- Rojas-Soto, R.O. y A. Oliveras de Ita. 2005. Los inventarios avifaunísticos: reflexiones sobre su desarrollo en el Neotrópico. *Ornitología Neotropical.* 16:441-445.
- Ryan, M.J. y E.A. Brenowitz. 1985. The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. *Am. Nat.* 126:87-100.
- Sarukhán, J., J. Carabias., P. Koleff y T. Urquiza-Hass. 2012. Capital natural de México: Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. pp. 95
- Sarukhán, J., P. Koleff., J. Carabias., J. Soberón, R. Dirzo., J. Llorente-Bousquets., G. Halffter., R. González., I. March., A. Mohar., S. Anta, y S. De la Meza. 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. pp. 104.
- Schaldach, Jr. W. J., y B. P. Escalante-Pliego. 1997. Lista de aves. En: González S. E., R. Dirzo y R. C. Vogt (Edits), Historia Natural de Los Tuxtlas. Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. pp. 571–588.
- Searcy, W.A. y S. Nowicki. 2005. The Evolution of Animal Communication. Reliability and Deception in Signaling Systems. Monographs in Behavior and Ecology. Princeton University Press. USA. pp. 97-132.

- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, jueves 30 de diciembre 2010.Ciudad de México.
- Slabbekoorn, H. y T.B. Smith., 2002. Bird song, ecology and speciation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.357*: 493-503.
- Soberón, J. y J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conserv. Biol.* 7: 480-488.
- Soto, M. y L. Gama. 1997. Climas. En: González S. E., R. Dirzo y R. C. Vogt (Edits), Historia Natural de Los Tuxtlas. Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. pp. 7–23.
- Sousa, M. 1968. Ecología de las leguminosas de Los Tuxtlas, Veracruz. Anales del Instituto de Biología. UNAM, Serie Botánica 1:121-160.
- StatSoft. 2010. STATISTICA (data analysis software system and computer program manual). Versión 10. StatSoft, Inc., Tulsa, OK.
- Thompson, N.S., K. Ledoux y K. Moody. 1994. A system for describing bird song units. Bioacoustics. *The International Journal of Animal Sound and its Recording.* 5:267-279.
- Thorpe, W.H. 1961. Bird-song. The biology of vocal communication and expression in birds. *Cambridge University Press.* pp. 14-37.
- Tubaro, P.L. 1999. Bioacústica aplicada a la sistemática, conservación y manejo de poblaciones naturales de aves. *Etología*, 7:19-32.
- Tubaro, P.L y E.T. Segura. 1989. Aprendizaje vocal y dialectos de canto en las aves. *Revista Latinoamericana de Psicología.* 21(002):195-217.

- IUCN 2012. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <<http://www.iucnredlist.org>>. Consultado el <14 de Enero 2013>.
- Villanueva-Rivera, L.J., B.C. Pijanowski., J. Doucette y B. Pekin. 2011. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecol.* 26:1233–1246
- Villarreal, H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y A.M. Umaña. 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. pp. 91-112.
- Wildlife Acoustics, Inc. 2011. Song Meter User Manual. Concord, Massachusetts, USA.
- Wiley, R.H. y D.G. Richards. 1982. Adaptations for Acoustic Communication in Birds: Sound Transmission and Signal Detection. En: Kroodsma, D.E., E.H. Miller y H. Quillet. (Edits). 1982. Acoustic Communication in Birds. Production, Perception, and Design Features of Sound. Vol. 1. ACADEMIC PRESS, INC. New York. pp. 131-181.
- Winker, K. 1997. Introducción a las aves de los Tuxtlas. En: González S. E., R. Dirzo y R. C. Vogt (Edits), Historia Natural de Los Tuxtlas. Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. pp. 533-540.
- Winker, K., R.J. Oehlenschläger., M.A. Ramos., R.M. Zink, J.H. Rappole y D.W. Warner. 1992. Avian distribution and abundance records for the Sierra de Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Wilson Bull.*, 104(4):699-718.

COLECCIONES BIOACÚSTICAS

AVoCet Database© 2008-2010. Michigan State University Board of Trustees.
<http://avocet.zoology.msu.edu/>

Cornell Lab of Ornithology. Macaulay Library. www.macaulaylibrary.org

González-García, F. Biblioteca de Sonidos Aves de México. Disponible en:
<http://www.inecol.edu.mx/sonidos/menu.htm>

González-García, F y A. Celis-Murillo. 2008. Cantos de las Aves de México/Bird Songs of Mexico. Veracruz. Vol 1. Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaria de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Coordinación General de Medio Ambiente. Biblioteca de Sonidos de las aves de México (BISAM). Instituto de Ecología. A.C. Center for Conservation Biology. University of California Riverside. Archivo Acústico de Sonidos de la Naturaleza (SONAT). Xalapa. Veracruz. México.

López-Lanus (Editor). 2008. Bird Sounds from Southern South America.

Xeno-canto Foundation, <http://www.xeno-canto.org>

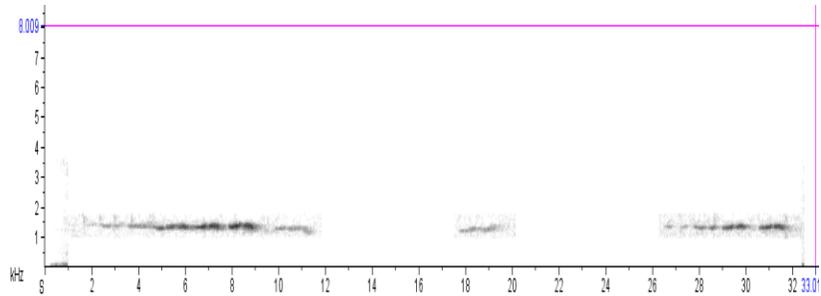
Apéndice I. Especies seleccionadas para su búsqueda mediante el uso de playbacks y espectrograma del canto o llamado utilizado en campo¹⁶, en orden taxonómico según la AOU 2012.

Orden: Tinamiformes

Familia: Tinamidae

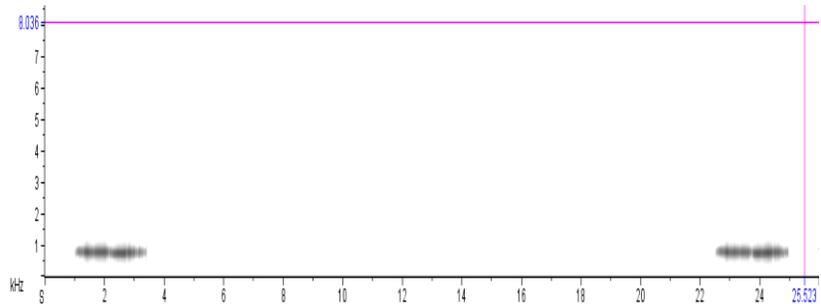
Tinamus major

Llamado



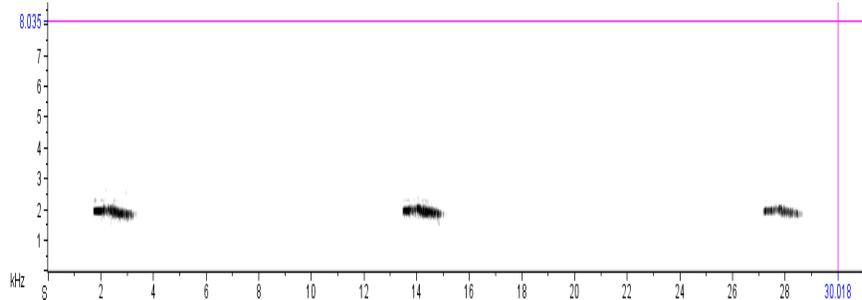
Crypturellus boucardi

Llamado



Crypturellus soui

Llamado



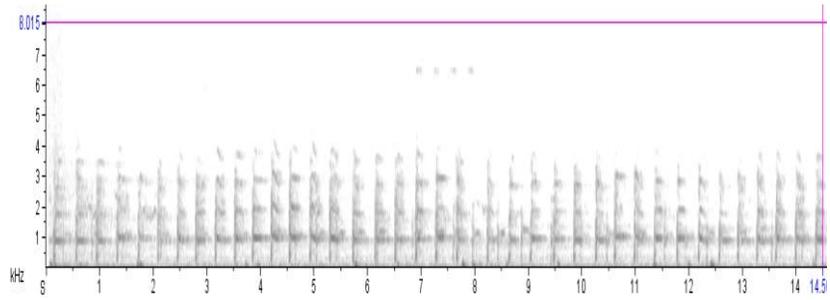
¹⁶ Todos los sonidos utilizados para la realización de playbacks en campo fueron obtenidos de www.xeno-canto.org

Orden: Galliformes

Familia: Cracidae

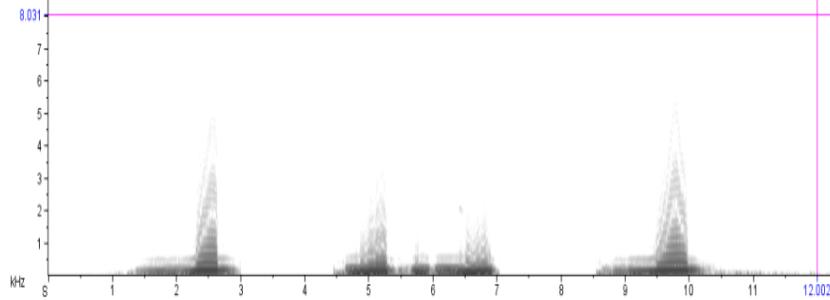
Penelope purpurascens

Canto



Crax rubra

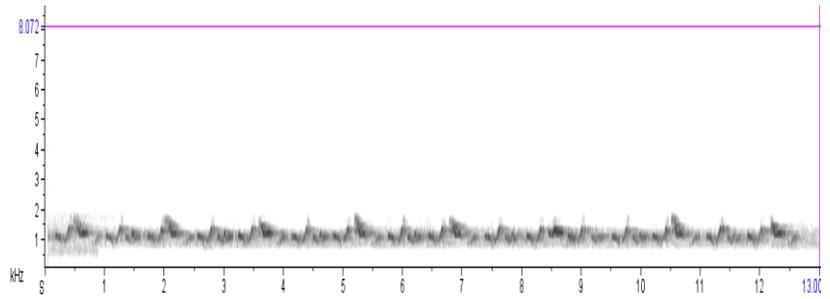
Canto



Familia: Odontophoridae

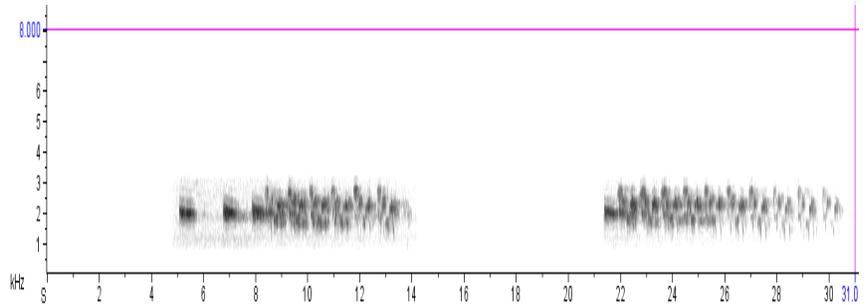
Odontophorus guttatus

Canto



Dactylortyx thoracicus

Canto

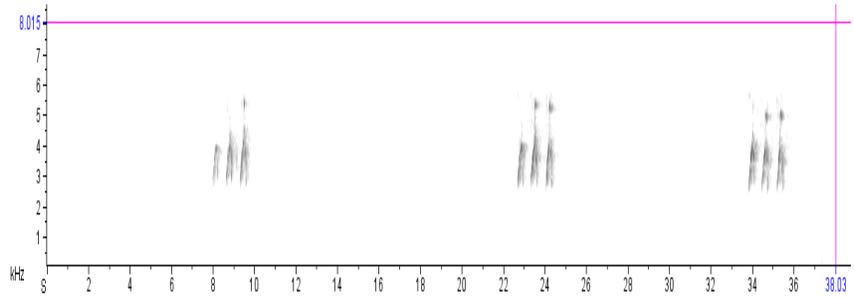


Orden: Accipitriformes

Familia: Accipitridae

Leucopternis albicollis

Llamado

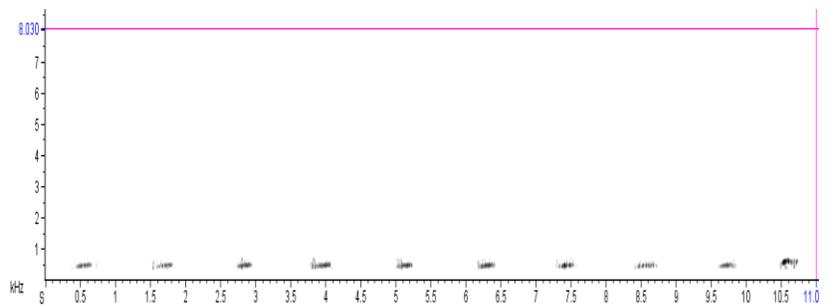


Orden: Columbiformes

Familia: Columbidae

Claravis mondetoura

Canto

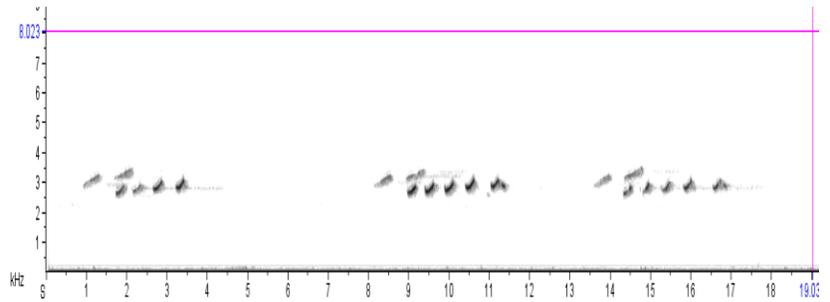


Orden: Cuculiformes

Familia: Cuculidae

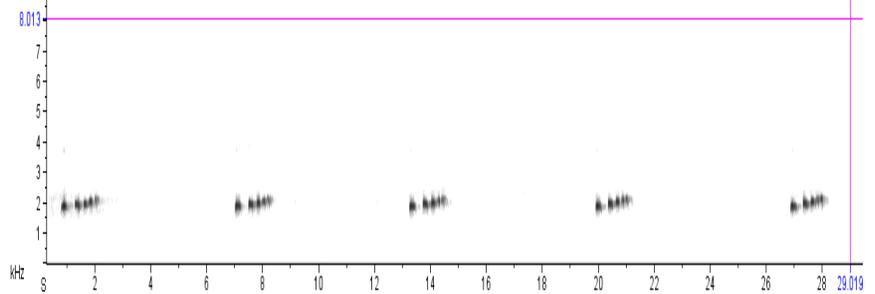
Tapera naevia

Canto



Dromococcyx phasianellus

Llamado

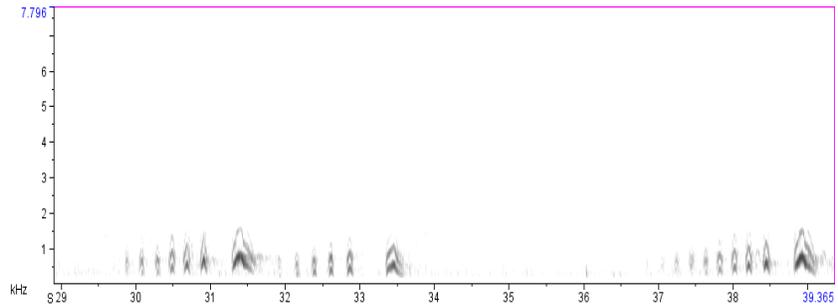


Orden: Strigiformes

Familia: Strigidae

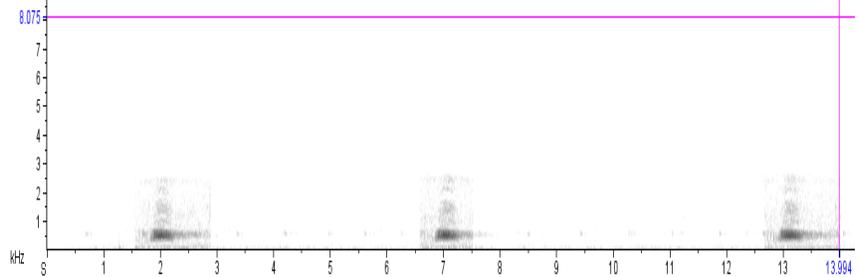
Ciccaba nigrolineata

Llamado



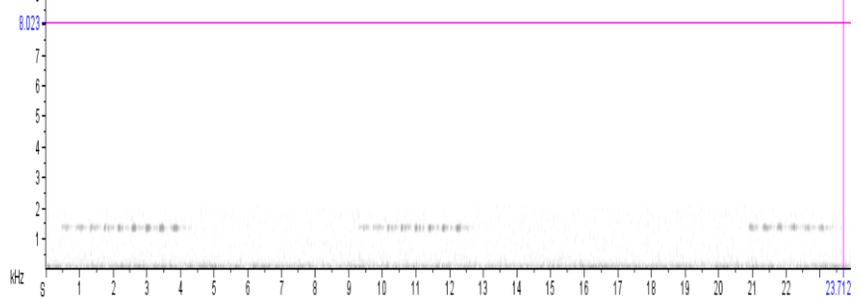
Lophotrix cristata

Llamado



Glaucidium griseiceps

Llamado

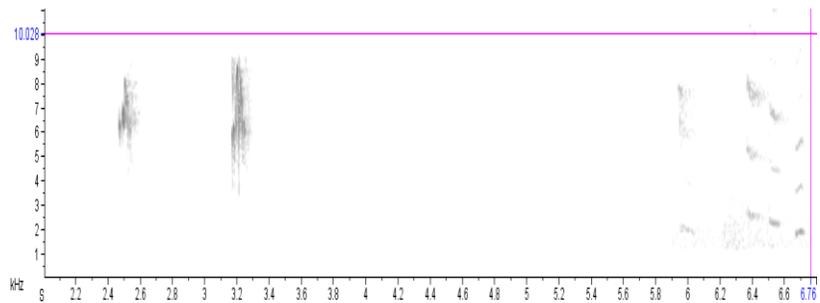


Orden: Apodiformes

Familia: Trochilidae

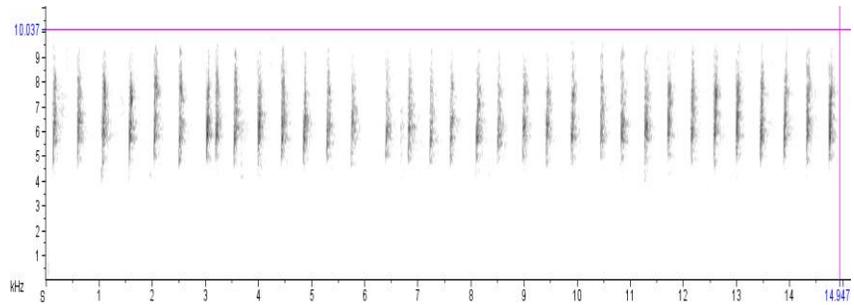
Florisuga mellivora

Canto



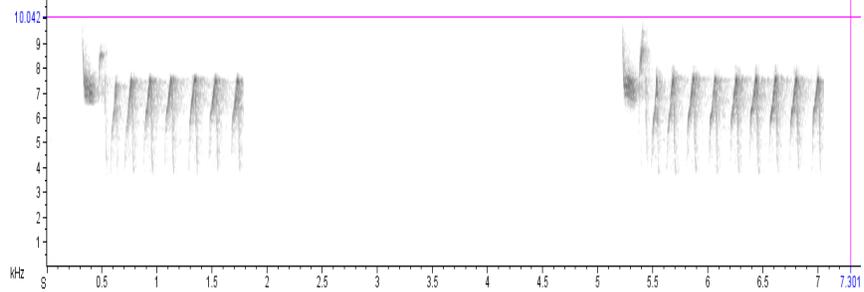
Eupherusa eximia

Llamado



*Hylocharis eliciae*¹⁷

Canto

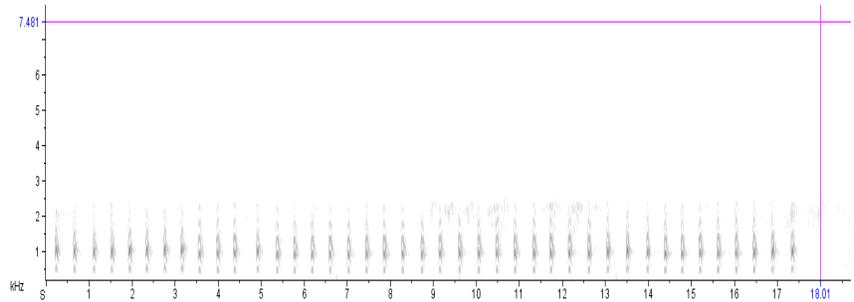


Orden: Trogoniformes

Familia: Trogonidae

Trogon massena

Canto

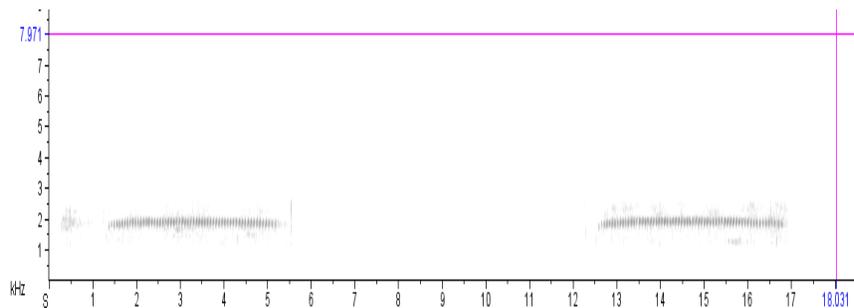


Orden: Piciformes

Familia: Bucconidae

Notharchus hyperrhynchus

Llamado

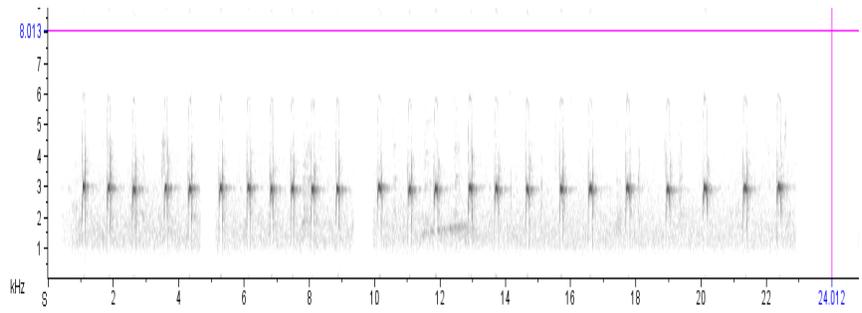


¹⁷ Reportada como probable emigrante intratropical, lo que indica que se reproduce en la región en verano y se retira al sur en otoño e invierno (Schaldach y Escalante-Pliego 1997).

Familia: Galbulidae

Galbula ruficauda

Canto

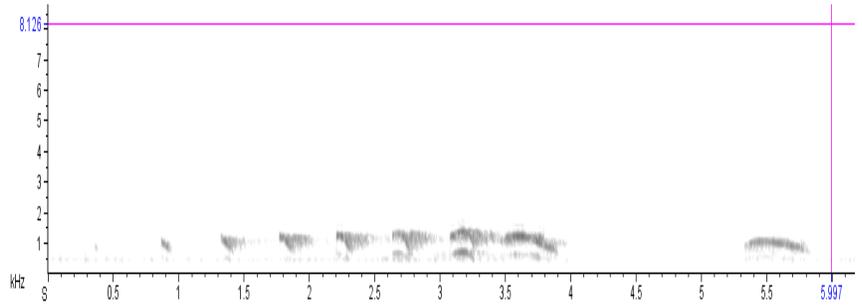


Orden: Falconiformes

Familia: Falconidae

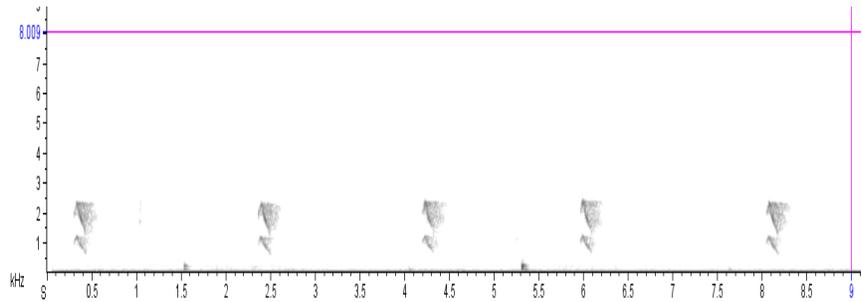
Micrastur semitorquatus

Llamado



Micrastur ruficollis

Llamado

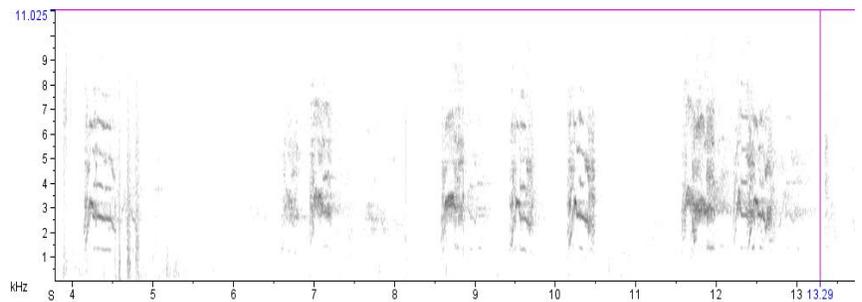


Orden: Psittaciformes

Familia: Psittacidae

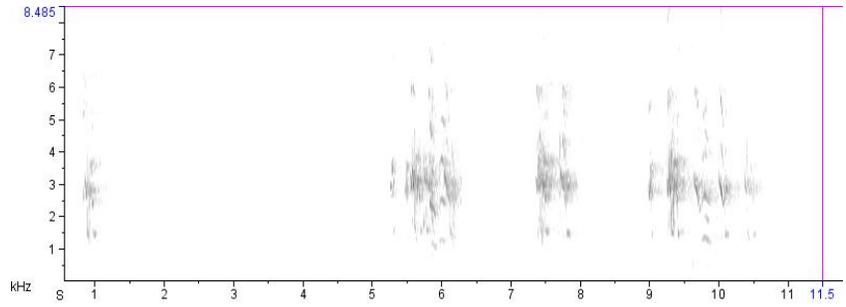
Pionus senilis

Llamado



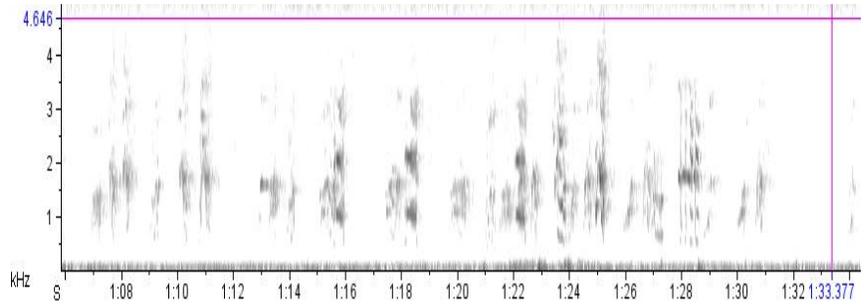
Pyrrhula haematotis

Llamado



Amazona farinosa

Llamado

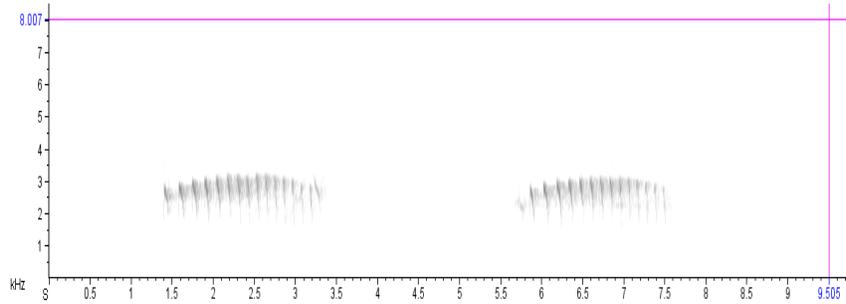


Orden: Passeriformes

Familia: Thamnophilidae

Cercomacra tyrannina

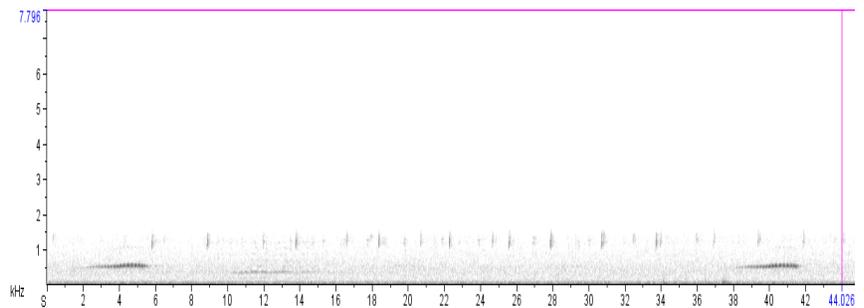
Llamado



Familia: Grallariidae

Grallaria guatemalensis

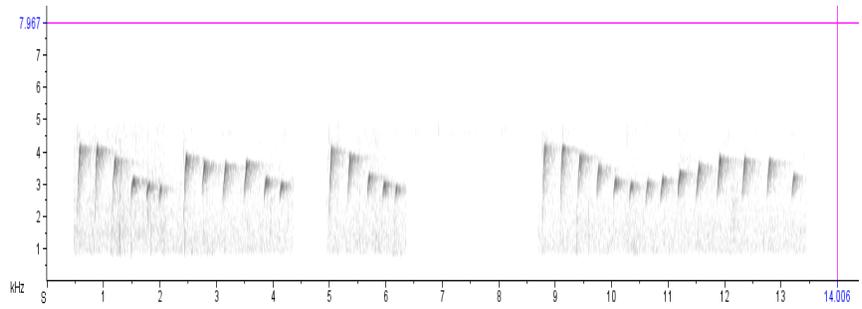
Llamado



Familia: Furnariidae

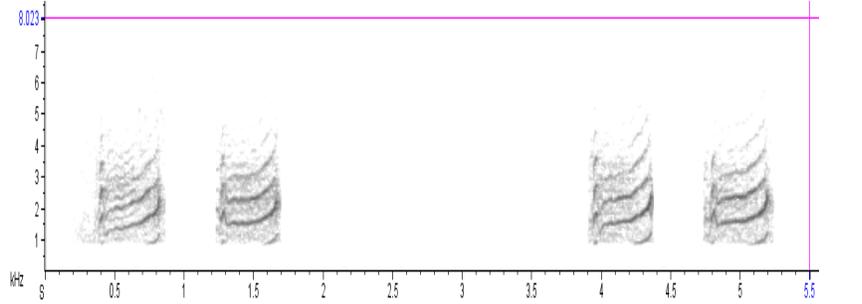
Sclerurus guatemalensis

Canto



Automolus rubiginosus

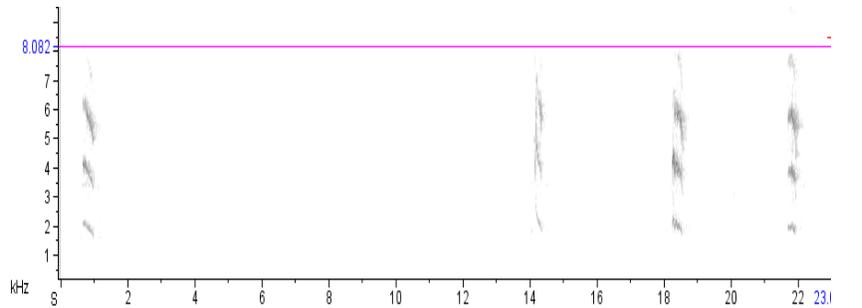
Llamado



Familia: Dendrocolaptidae

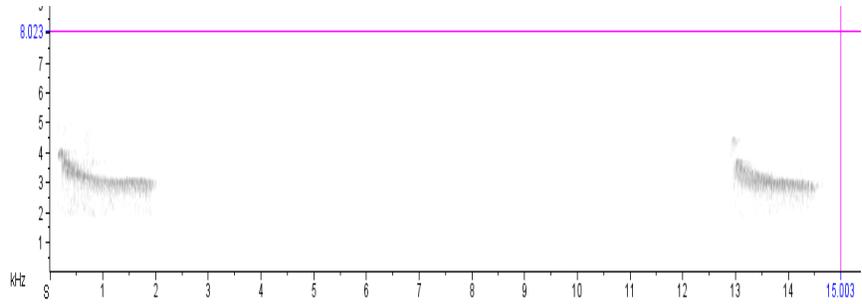
Dendrocincla homochroa

Llamado



Lepidocolaptes souleyetii

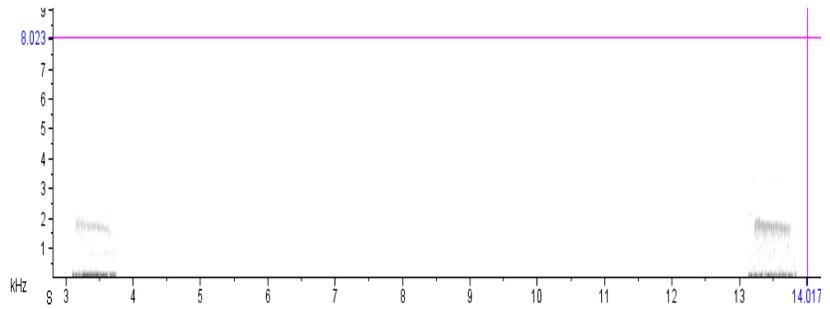
Canto



Familia: Tyrannidae

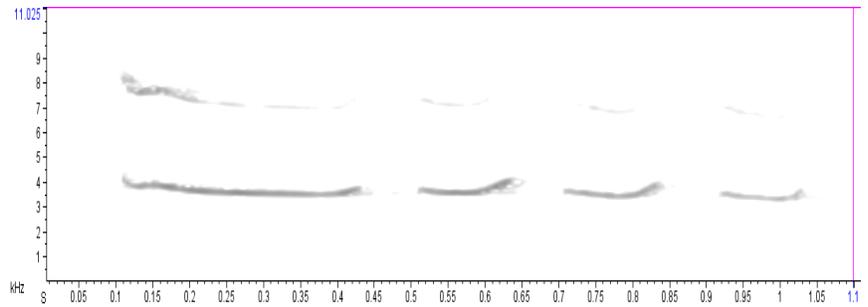
Poecilotriccus sylvia

Llamado



Pachyramphus cinnamomeus

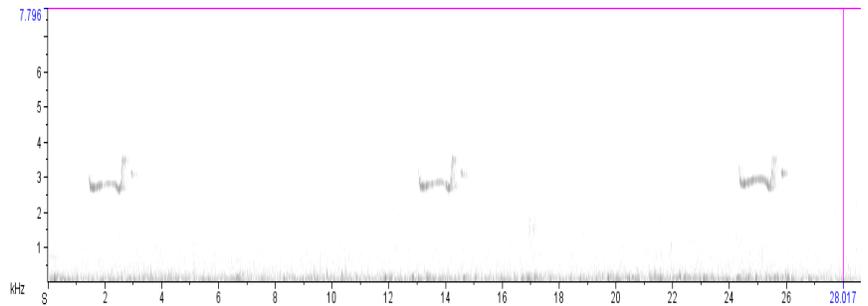
Canto



Familia: Cotingidae

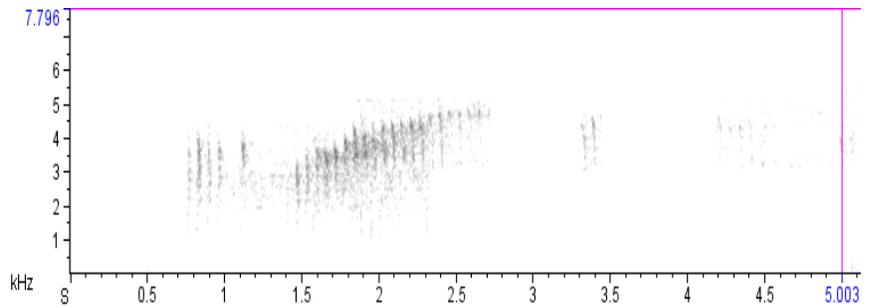
Schiffornis turdina

Canto



*Cotinga amabilis*¹⁸

Canto

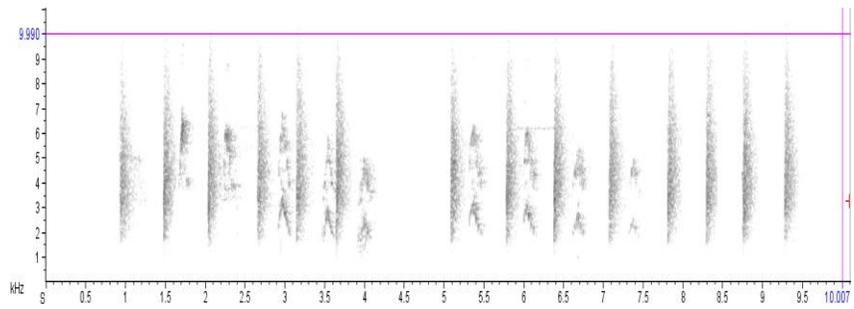


¹⁸No se encontró canto o llamada de *Cotinga amabilis* y se utilizó una vocalización de *C. nattererii*. Leslie Lieurance, XC72857. Disponible en: www.xeno-canto.org/72857.

Familia: Pipridae

Manacus candei

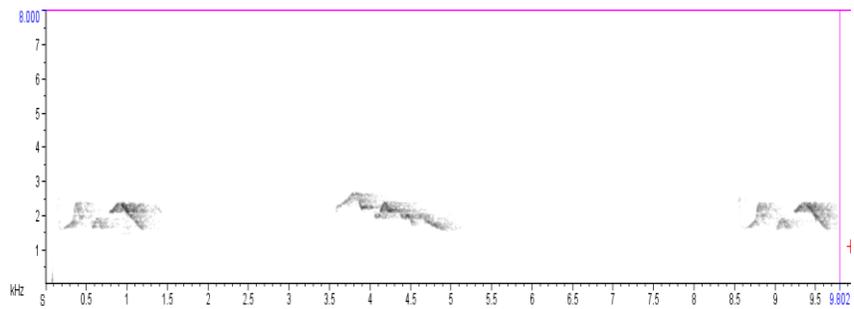
Canto



Familia: Vireonidae

Cyclarhis gujanensis

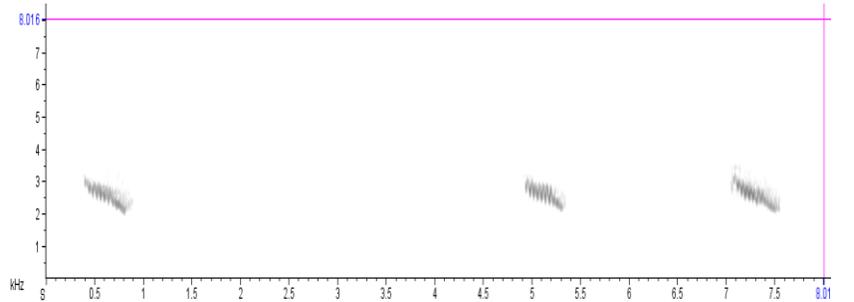
Canto



Familia: Paridae

Baeolophus bicolor

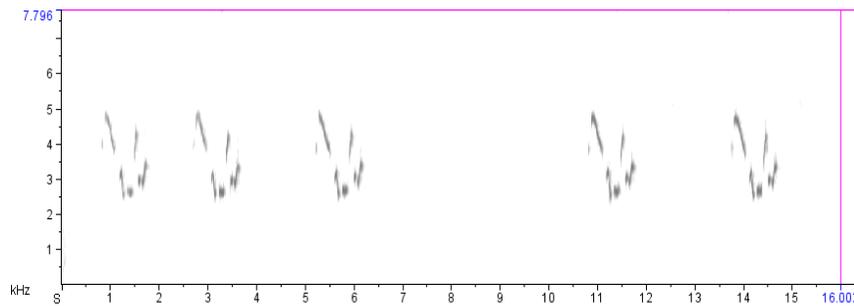
Llamado



Familia: Troglodytidae

Henicorhina leucophrys

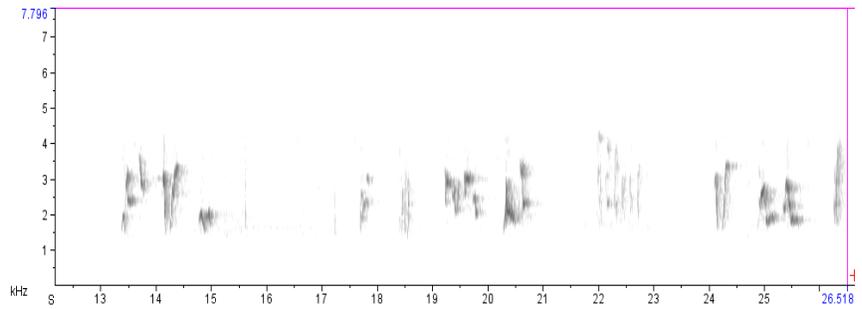
Canto



Familia: Turdidae

Turdus infuscatus

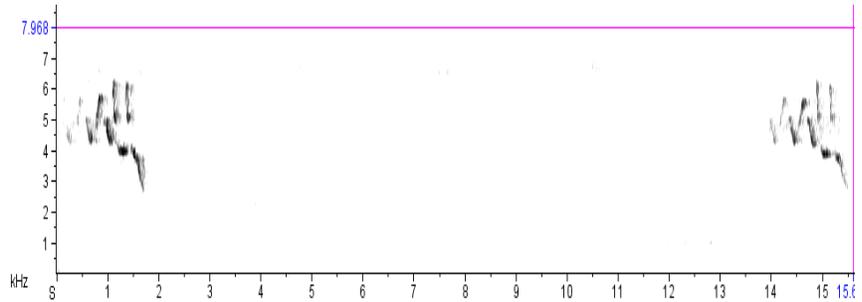
Canto



Familia: Parulidae

*Euthlypis lachrymosa*¹⁹

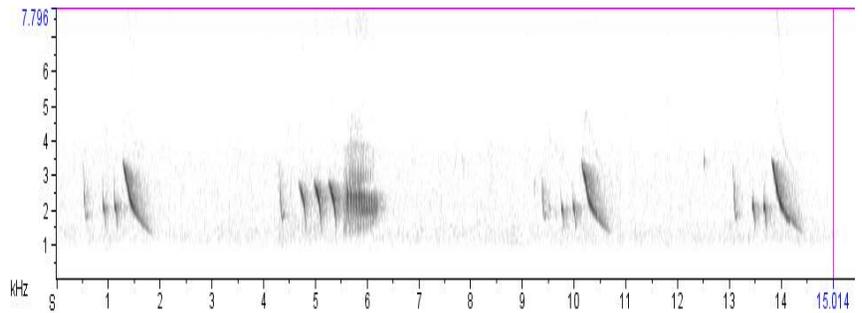
Canto



Familia: Thraupidae

Saltator coerulescens

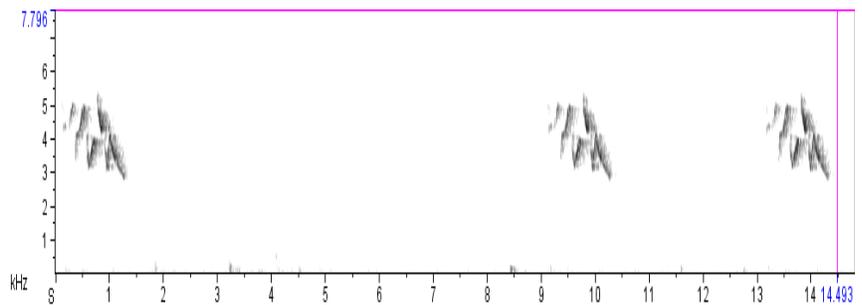
Canto



Familia: Cardinalidae

Granatellus sallaei

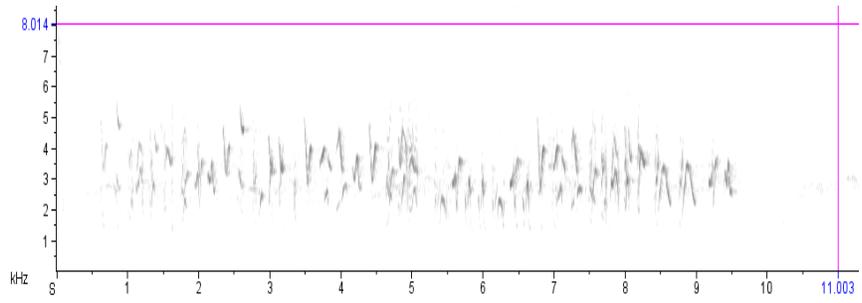
Canto



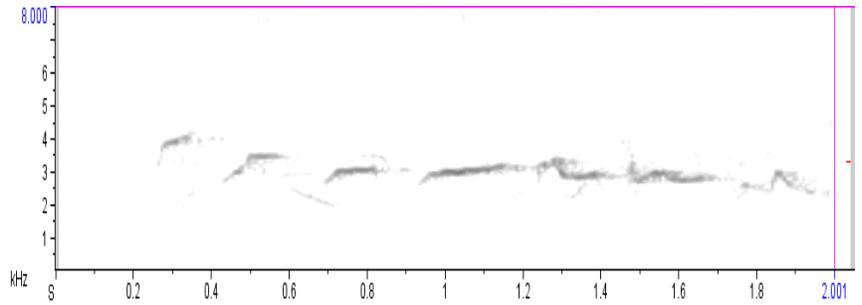
¹⁹ Reportada como probable emigrante norteño (N?), que indica que es una especie que se reproduce en el norte o norte-centro del país, transeúnte o que inverna en la región (Schaldach y Escalante-Pliego 1997).

Familia: Emberizidae

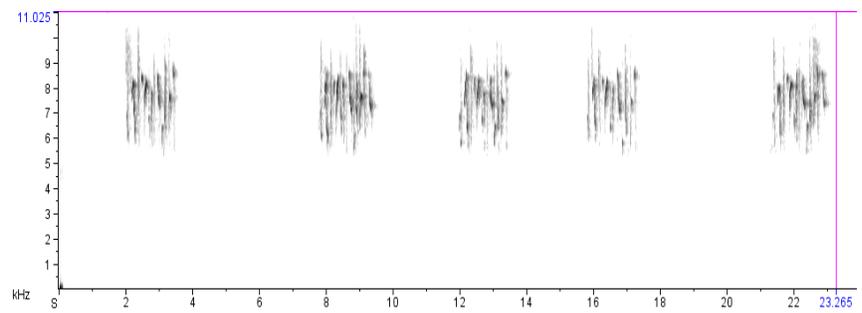
Sporophila americana
Canto



Oryzoborus funereus
Canto

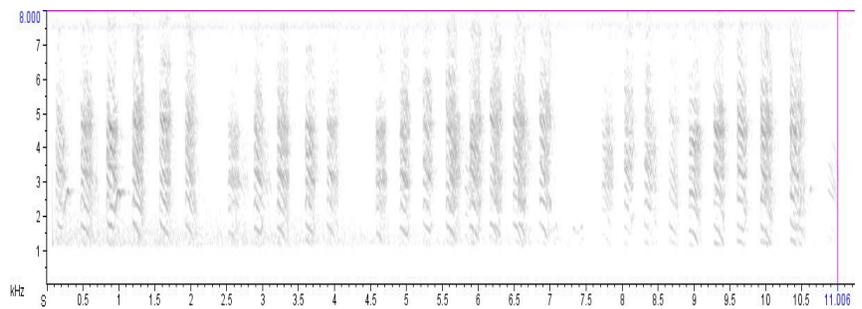


Arremon aurantirostris
Canto

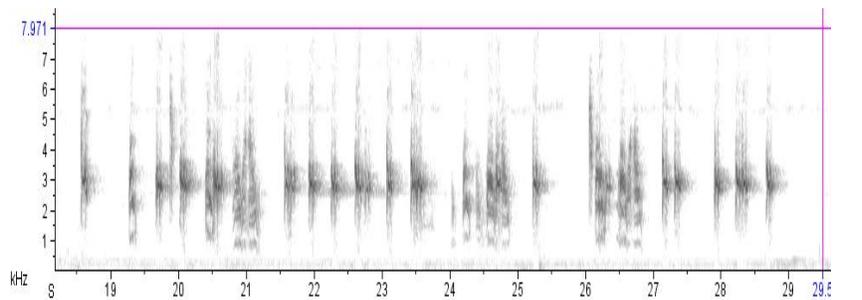


Familia: Icteridae

Icterus chrysater
Canto

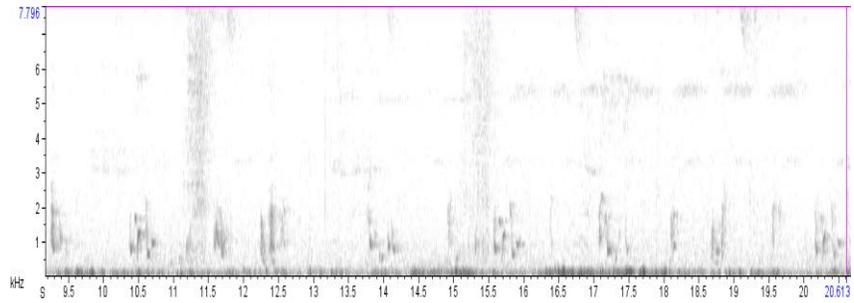


Icterus mesomelas
Canto



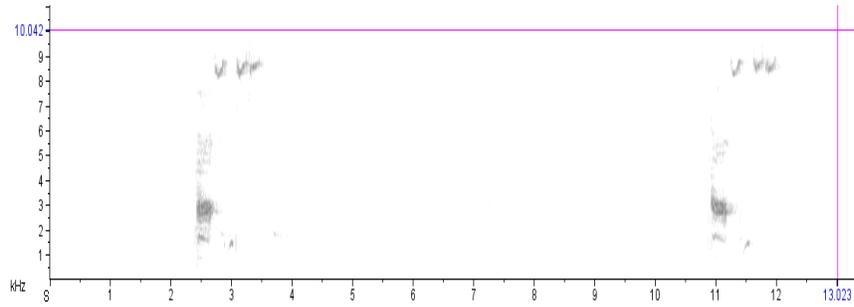
Psarocolius wagleri

Canto



Molothrus oryzivorus

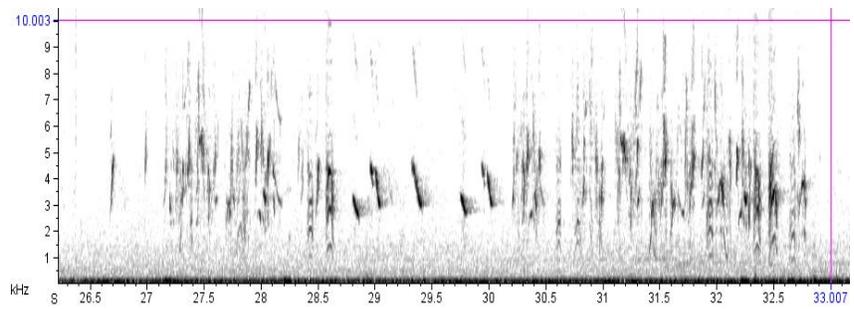
Canto



Familia: Fringillidae

Euphonia elegantissima

Canto



Apéndice II. Número de especies registradas, su abundancia relativa y categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la IUCN; en orden taxonómico según la AOU, 2012²⁰.

	NOM-059	IUCN	Paisaje acústico		Playbacks		Registros totales
			Salida 1	Salida 2	Salida 1	Salida 2	
Orden: Tinamiformes							
Familia: Tinamidae							
<i>Tinamus major</i>	A	NT	0	3	1	0	4
<i>Crypturellus boucardi</i>	A	LC	3	5	3	1	12
Orden: Galliformes							
Familia: Cracidae							
<i>Penelope purpuracens</i>	A	-	0	2	0	1	3
Familia: Odontophoridae							
<i>Odontophorus guttatus</i>	Pr	LC	0	3	0	2	5
Orden: Accipitriformes							
Familia: Accipitridae							
<i>Leptodon cayanensis</i>	Pr	LC	1	0	0	0	1
<i>Buteogallus urubitinga</i>	Pr	-	0	0	0	1	1
<i>Buteo nitidus</i>	-	LC	0	0	0	1	1
Orden: Columbiformes							
Familia: Columbidae							
<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Pr	LC	0	5	1	2	8
<i>Claravis pretiosa</i>	-	LC	0	0	1	0	1
<i>Leptotila verreauxi</i>	Pr	LC	1	0	0	0	1
<i>Geotrygon carrikeri</i>	P	EN	0	7	2	5	14
<i>Geotrygon montana</i>	-	LC	0	1	0	0	1
Orden: Strigiformes							
Familia: Strigidae							
<i>Ciccaba virgata</i>	-	-	0	2	0	0	2
<i>Ciccaba nigrolineata</i>	A	-	0	1	0	0	1
Orden: Apodiformes							
Familia: Trochilidae							
<i>Phaethornis longuemareus</i>	Pr	LC	7	1	1	0	9
<i>Phaethornis superciliosus</i>	-	LC	3	0	1	0	4

²⁰ Se distinguen en color gris, las especies raras (r) y en azul las muy raras (vr) según Schaldach y Escalante-Pliego (1997).

	NOM-059	IUCN	Paisaje acústico		Playbacks		Registros totales
			Salida 1	Salida 2	Salida 1	Salida 2	
<i>Lampornis amethystinus</i>	-	LC	2	0	3	0	5
<i>Campylopterus excellens</i>	-	LC	4	0	0	3	7
<i>Campylopterus hemileucurus</i>	-	LC	3	3	1	3	10
<i>Amazilia candida</i>	-	LC	3	5	5	10	23
<i>Amazilia cyanocephala</i>	-	LC	2	6	0	1	9
<i>Amazilia tzacatl</i>	-	LC	6	3	4	1	14
<i>Amazilia yucatanensis</i>	-	LC	0	0	1	0	1
<i>Hylocharis eliciae</i>	-	LC	0	0	0	4	4
Orden: Trogoniformes							
Familia: Trogonidae							
<i>Trogon melanocephalus</i>	-	LC	1	0	0	0	1
<i>Trogon caligatus</i>	-	LC	8	3	3	0	14
<i>Trogon collaris</i>	Pr	LC	2	19	6	4	31
Orden: Coraciformes							
Familia: Momotidae							
<i>Momotus momota</i>	-	LC	1	22	5	5	33
Orden: Piciformes							
Familia: Bucconidae							
<i>Notharchus hyperrhynchus</i>	-	LC	1	3	0	0	4
Familia: Ramphastidae							
<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	A	LC	0	1	0	0	1
<i>Ramphastos sulphuratus</i>	A	-	1	12	2	8	23
Familia: Picidae							
<i>Melanerpes formicivorus</i>	Pr	LC	1	1	0	0	2
<i>Melanerpes aurifrons</i>	-	LC	2	3	0	1	6
<i>Veniliornis fumigatus</i>	-	-	1	1	0	0	2
<i>Dryocopus lineatus</i>	-	LC	1	6	0	0	7
Orden: Psittaciformes							
Familia: Psittacidae							
<i>Amazona albifrons</i>	Pr	LC	0	0	0	2	2
Orden Passeriformes							
Familia: Formicariidae							
<i>Formicarius analis</i>	-	LC	0	1	0	2	3
Familia: Furnariidae							
<i>Sclerurus mexicanus</i>	A	LC	0	0	2	0	2
<i>Sittasomis griseicapillus</i>	-	-	1	0	0	0	1
<i>Dendrocicla anabatina</i>	Pr	LC	5	1	0	0	6

	NOM-059	IUCN	Paisaje acústico		Playbacks		Registros totales
			Salida 1	Salida 2	Salida 1	Salida 2	
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	-	LC	5	16	7	10	38
<i>Xenops minutus</i>	Pr	LC	3	10	6	6	25
<i>Anabacerthia variegaticeps</i>	-	LC	0	15	0	0	15
Familia: Tyranidae							
<i>Myiopagis viridicata</i>	-	LC	2	0	4	2	8
<i>Empidonax flavescens</i>	-	LC	5	0	5	2	12
<i>Sayornis nigricans</i>	-	LC	1	0	0	0	1
<i>Attila spadiceus</i>	-	LC	13	4	2	4	23
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	-	LC	9	10	5	10	34
<i>Pitangus sulfuratus</i>	-	-	2	4	1	5	12
<i>Myiodynastes luteiventris</i>	-	LC	2	1	3	0	6
<i>Tyrannus couchii</i>	-	LC	0	0	1	0	1
<i>Tyrannus melancholicus</i>	-	LC	0	0	2	1	3
Familia: Pipridae							
<i>Pipra mentalis</i>	-	LC	0	0	0	2	2
Familia: Vireonidae							
<i>Hylophilus decurtatus</i>	Pr	LC	24	13	19	7	63
<i>Hylophilus ochraceiceps</i>	Pr	LC	0	0	1	0	1
<i>Vireolanius pulchellus</i>	A	LC	6	11	1	5	23
Familia: Corvidae							
<i>Psilorhinus morio</i>	-	LC	0	0	1	0	1
<i>Cyanocorax yncas</i>	-	LC	0	0	3	0	3
Familia: Troglodytidae							
<i>Thryothorus maculipectus</i>	-	LC	4	4	1	1	10
<i>Campylorhynchus zonatus</i>	-	LC	10	7	6	1	24
<i>Henicorhina leucosticta</i>	-	LC	25	31	18	27	101
Familia: Turdidae							
<i>Myadestes unicolor</i>	A	LC	4	8	6	8	26
<i>Catharus mexicanus</i>	Pr	LC	4	26	9	13	52
<i>Turdus grayi</i>	-	LC	4	5	3	2	14
<i>Turdus assimilis</i>	-	LC	1	9	15	5	30
Familia: Parulidae							
<i>Seiurus aurocapilla</i>	-	LC	0	0	0	1	1
<i>Helminterus vermivorum</i>	-	LC	0	0	6	0	6
<i>Basileuterus culicivorus</i>	-	LC	23	24	20	14	81
<i>Icteria virens</i>	-	LC	0	0	5	1	6
Familia: Thraupidae							
<i>Eucometis penicillata</i>	Pr	LC	0	0	8	0	8

	NOM-059	IUCN	Paisaje acústico		Playbacks		Registros totales
			Salida 1	Salida 2	Salida 1	Salida 2	
<i>Cyanerpes cyaneus</i>	-	LC	4	3	8	3	18
<i>Saltator atriceps</i>	-	LC	8	6	1	0	15
Familia: Emberizidae							
<i>Arremon aurantirostris</i>	-	LC	0	0	1	0	1
<i>Chlorospingus ophthalmicus</i>	A	LC	4	10	7	2	23
Familia: Cardinalidae							
<i>Piranga leucoptera</i>	-	LC	1	0	6	0	7
<i>Habia fuscicauda</i>	-	LC	4	2	4	1	11
<i>Caryothraustes poliogaster</i>	-	LC	2	0	5	2	9
<i>Granatellus salli</i>	-	-	2	2	1	8	13
Familia: Icteridae							
<i>Agelaius phoeniceus</i>	-	LC	1	4	1	1	7
Familia: Fringillidae							
<i>Euphonia affinis</i>	-	LC	4	0	2	0	6
Especies no identificadas							
1 spp			1	0	2	0	3
2 spp			4	2	0	2	8
3 spp			1	0	0	2	3
4 spp			1	0	0	0	1
5 spp			1	0	1	1	3
6 spp			1	1	0	0	2
7 spp			1	0	0	0	1
8 spp			0	1	0	0	1
9 spp			0	2	0	0	2
10 spp			0	2	0	0	2
11 spp			0	3	0	0	3
12 spp			0	3	0	4	7
13 spp			0	1	0	0	1
14 spp			0	1	0	0	1
15 spp			0	1	0	0	1
16 spp			0	0	1	0	1
17 spp			0	0	2	0	2
18 spp			0	0	1	0	1
19 spp			0	0	2	1	3
20 spp			0	0	3	0	3
21 spp			0	0	2	0	2
22 spp			0	0	1	0	1

	NOM-059	IUCN	Paisaje acústico		Playbacks		Registros totales
			Salida 1	Salida 2	Salida 1	Salida 2	
23 spp			0	0	1	0	1
24 spp			0	0	1	0	1
25 spp			0	0	1	0	1
26 spp			0	0	1	0	1
27 spp			0	0	1	0	1
28 spp			0	0	3	0	3
29 spp			0	0	1	0	1
30 spp			0	0	2	0	2
31 spp			0	0	1	0	1
32 spp			0	0	2	0	2
33 spp			0	0	1	0	1
34 spp			0	0	1	0	1
35 spp			0	0	2	0	2
36 spp			0	0	0	2	2
37 spp			0	0	0	1	1
38 spp			0	0	0	1	1
39 spp			0	0	0	1	1
40 spp			0	0	0	4	4
41 spp			0	0	0	1	1
42 spp			0	0	0	1	1
43 spp			0	0	0	1	1
44 spp			0	0	0	1	1
<i>Registros totales por salida</i>			247	364	269	223	1103

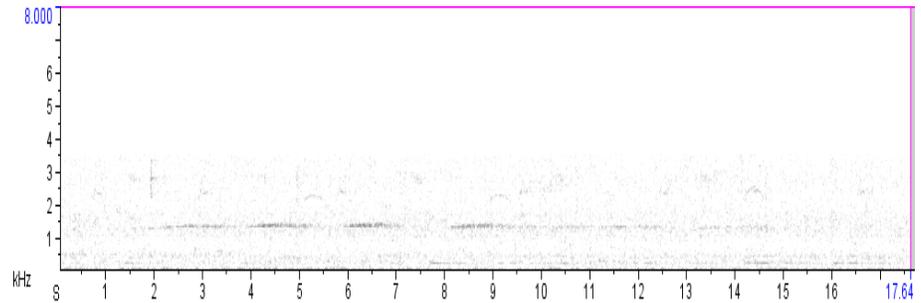
Apéndice III. Espectrogramas de especies identificadas, registradas en selva alta perennifolia, en orden taxonómico según la AOU, 2012.

Orden: Tinamiformes

Familia: Tinamidae

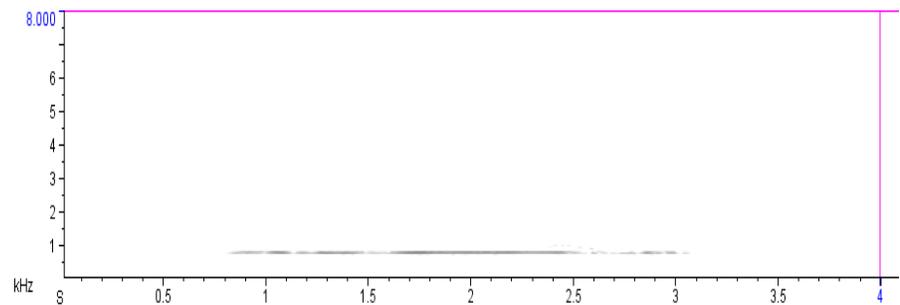
Tinamus major

Llamado



Crypturellus boucardi

Llamado

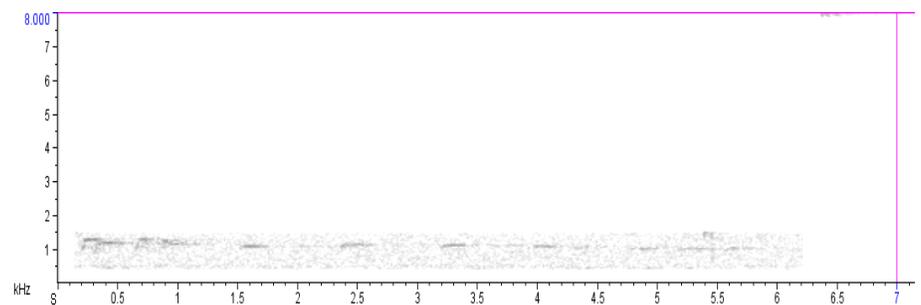


Orden: Galliformes

Familia: Cracidae

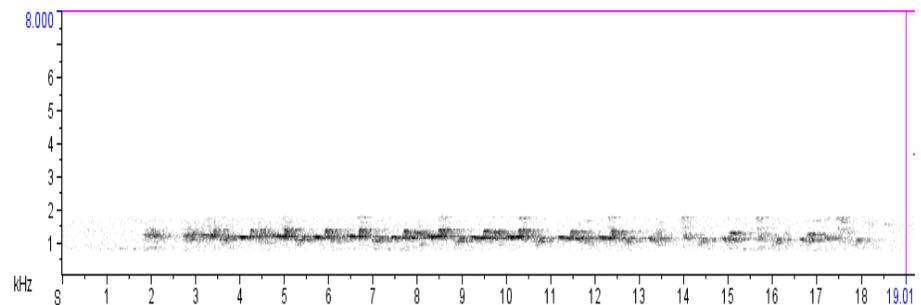
Penelope purpurascens

Canto



Odontophorus guttatus

Canto

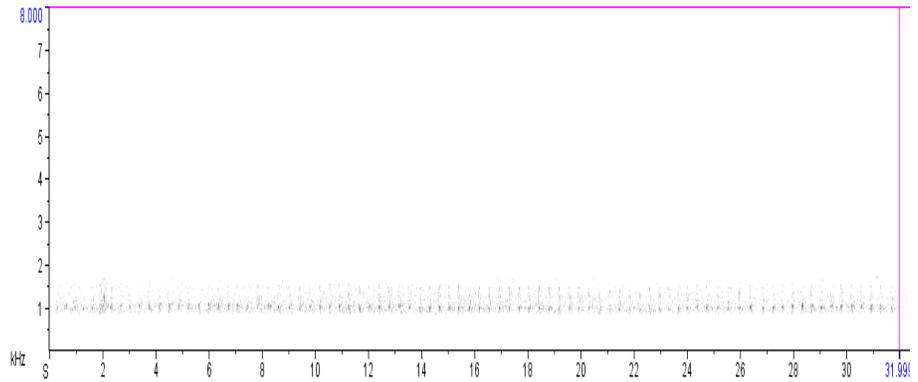


Orden: Accipitriformes

Familia: Accipitridae

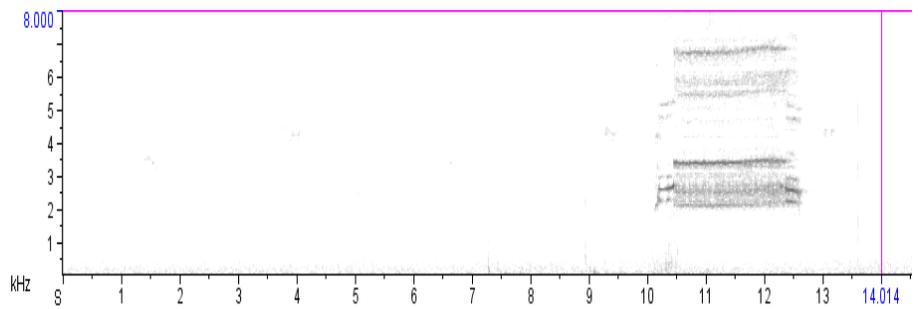
Leptodon cayanensis

Llamado



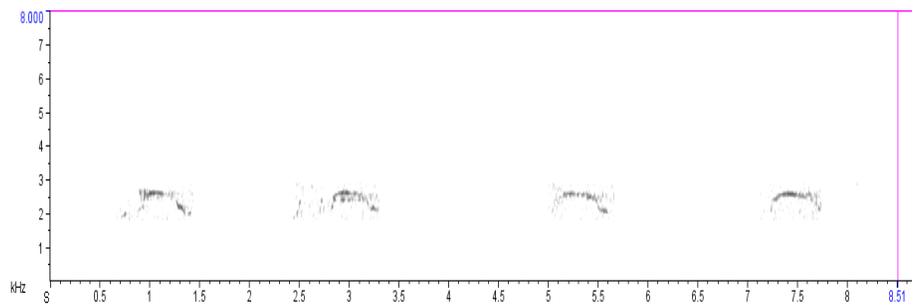
Buteogallus urubitinga

Llamado



Buteo nitidus

Llamado

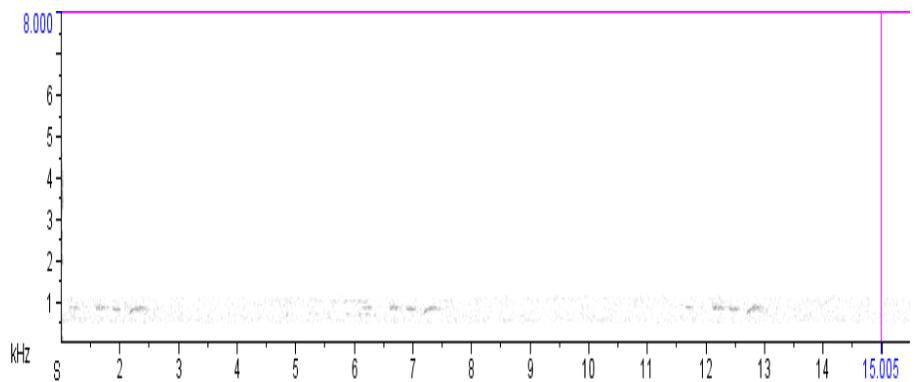


Orden: Columbiformes

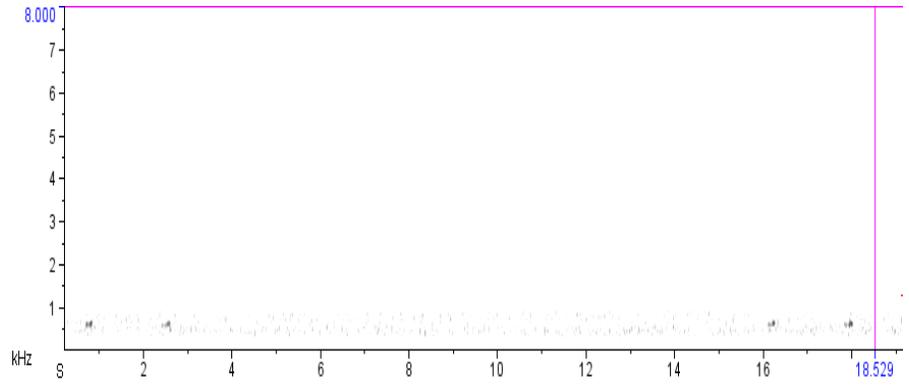
Familia: Columbidae

Patagioenas nigrirostris

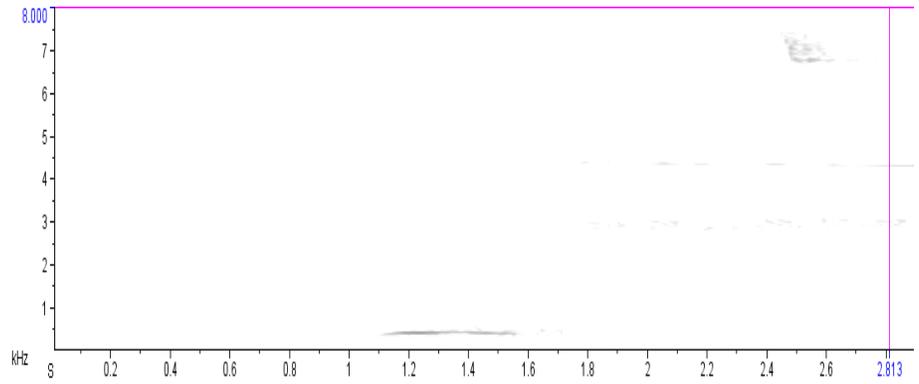
Canto



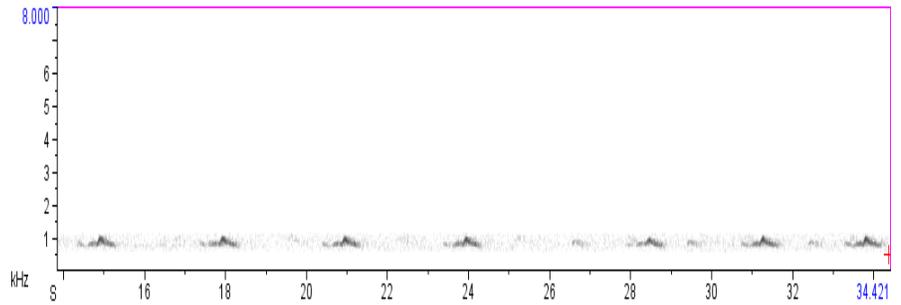
Claravis pretiosa
Canto



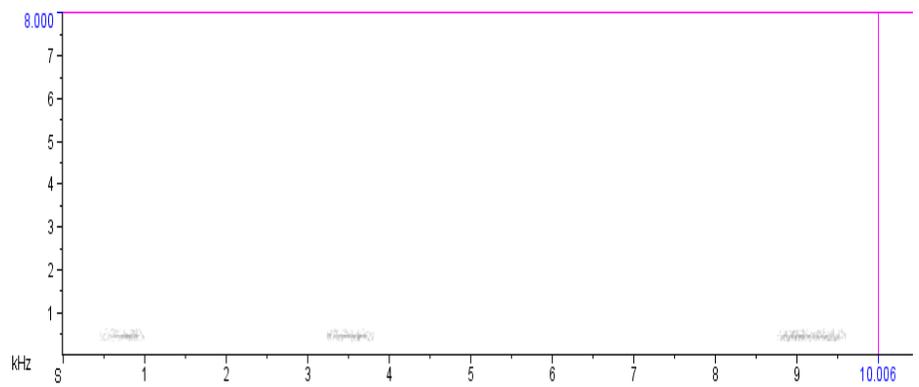
Leptotila verreauxi
Canto



Geotrygon carrikeri
Canto



Geotrygon montana
Canto

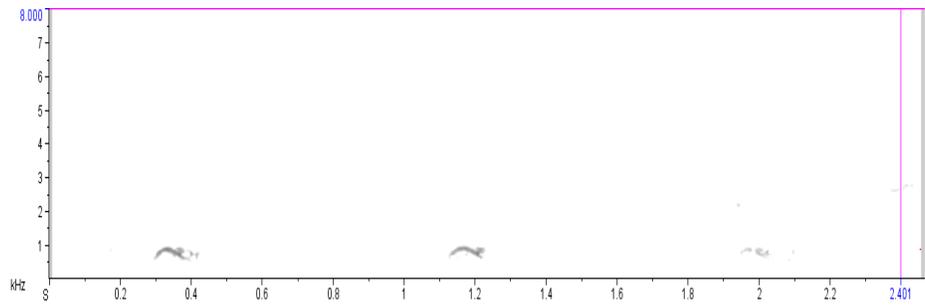


Orden: Strigiformes

Familia: Strigidae

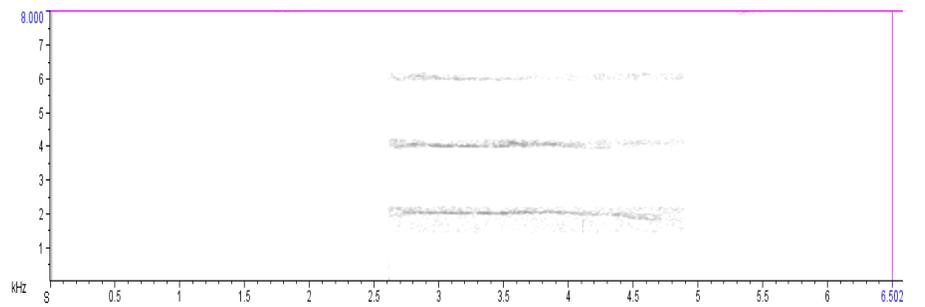
Ciccaba virgata

Llamado



Ciccaba nigrolineata

Llamado

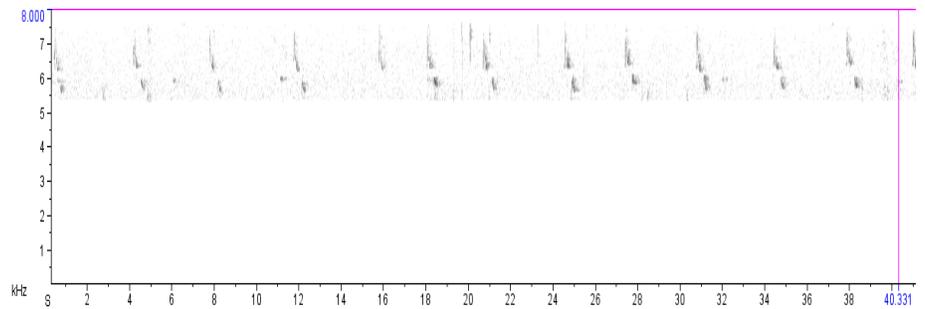


Orden: Apodiformes

Familia: Trochilidae

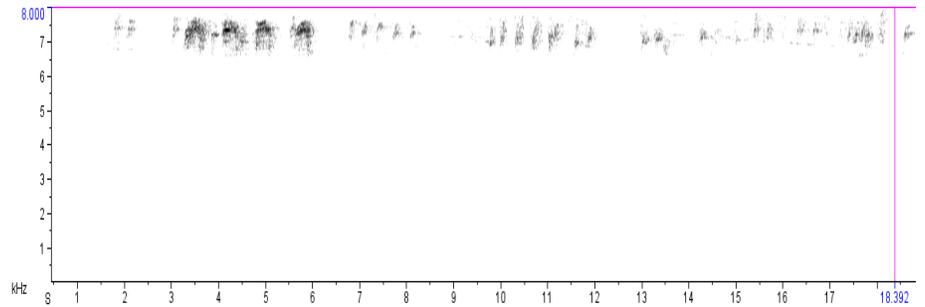
Phaethornis longemareus

Canto

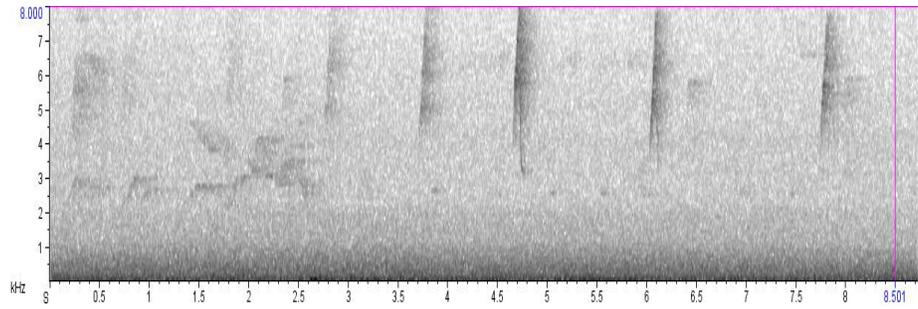


Phaethornis superciliosus

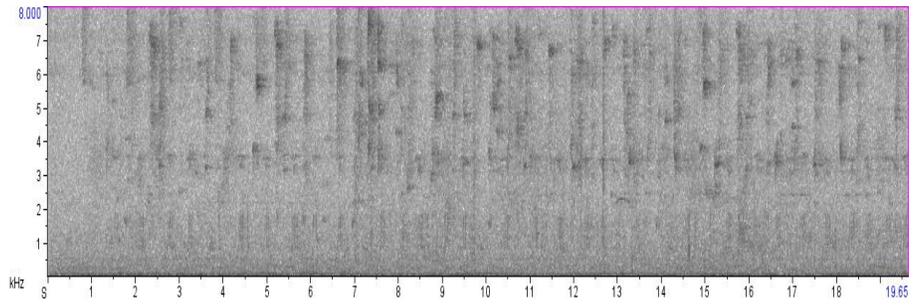
Canto



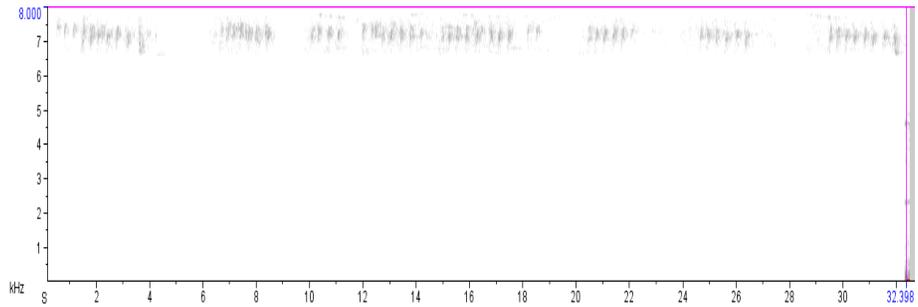
Lampornis amethystinus
Llamado



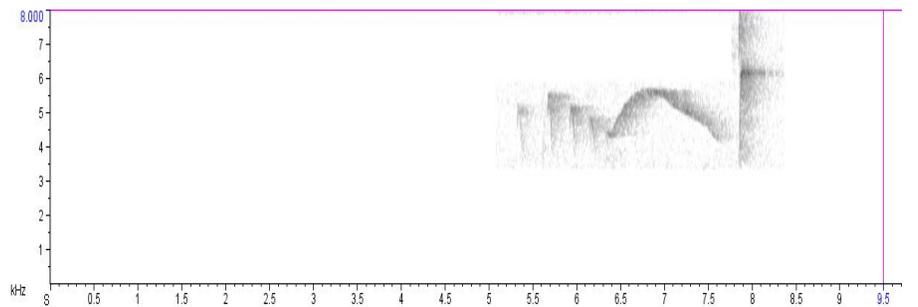
Campylopterus excellens
Canto



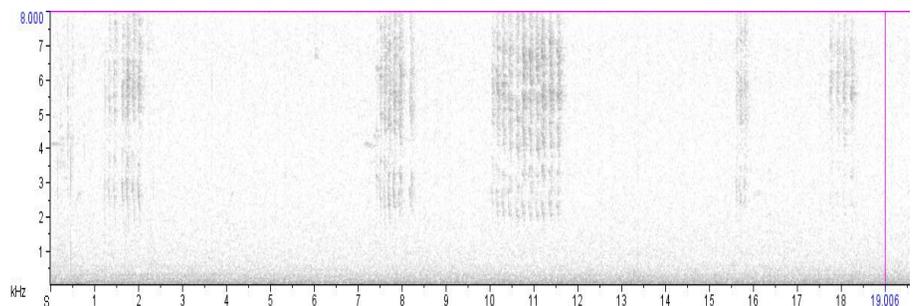
Campylopterus hemileucurus
Canto



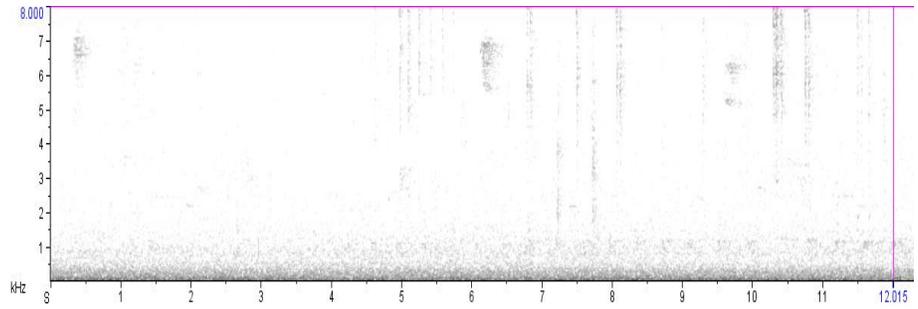
Amazilia candida
Canto



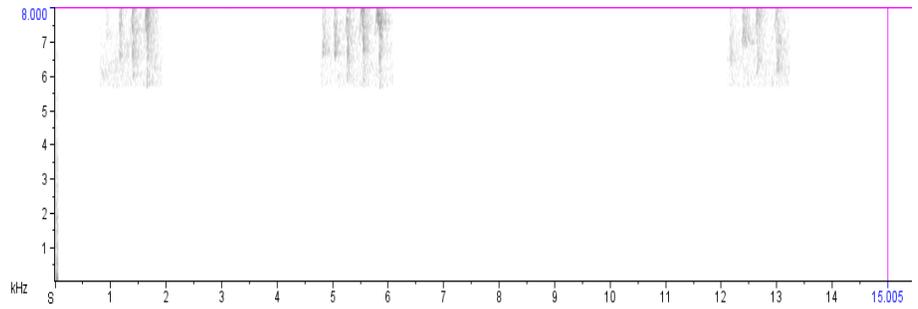
Amazilia cyanocephala
Canto



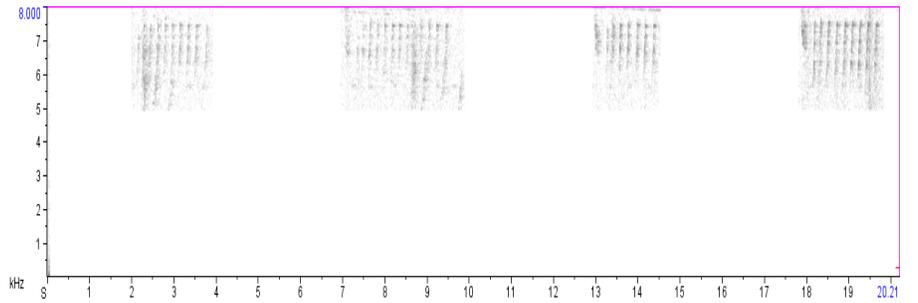
Amazilia tzacatl
Canto



Amazilia yucatanensis
Canto

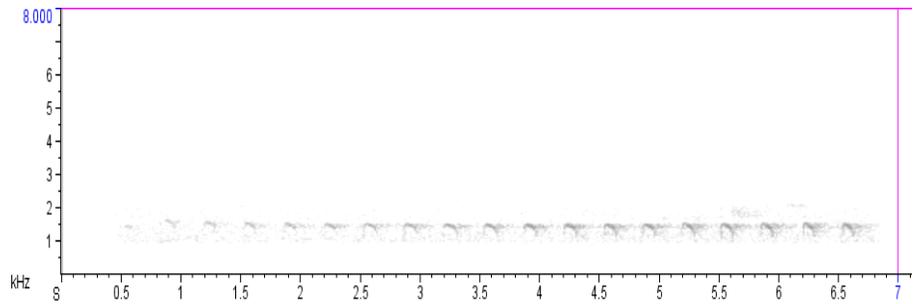


Hylocharis eliciae
Canto

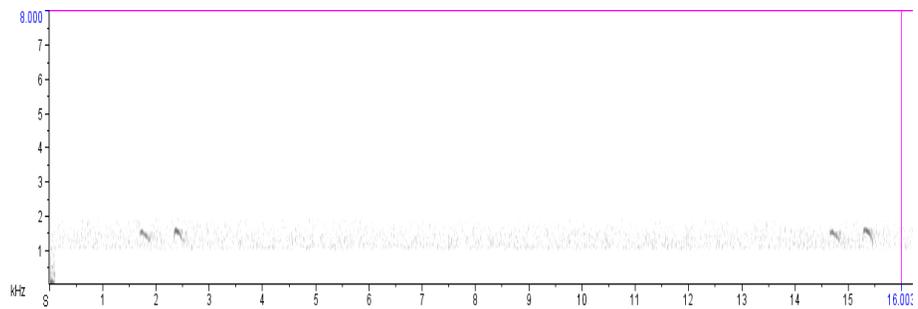


Orden: Trogoniformes
Familia: Trogonidae

Trogon caligatus
Canto

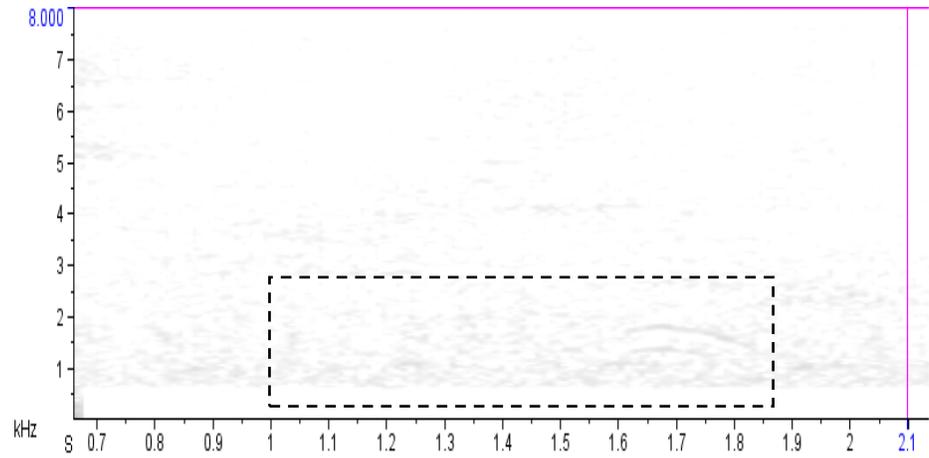


Trogon collaris
Llamado



*Trogon melanocephalus*²¹

Canto

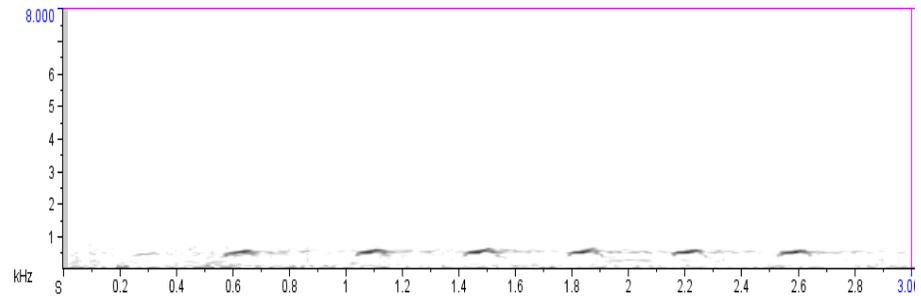


Orden: Coraciformes

Familia: Momotidae

Momotus momota

Canto

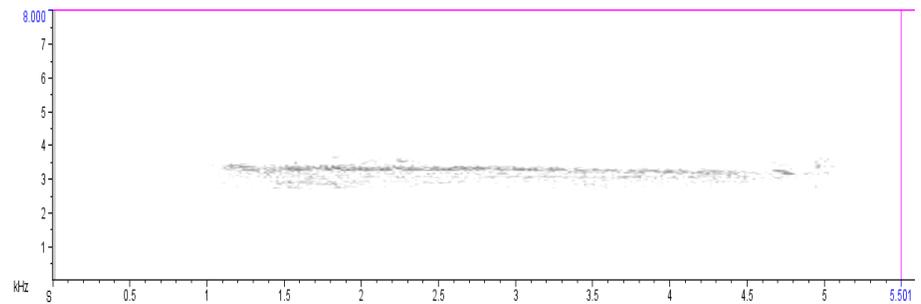


Orden: Piciformes

Familia: Bucconidae

Notharcus hyperhynchus

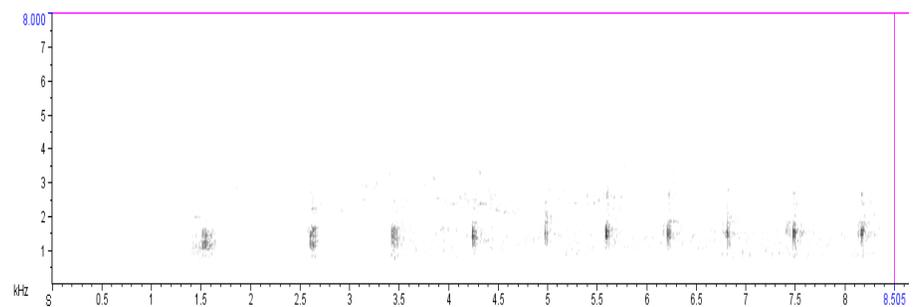
Canto



Familia: Ramphastidae

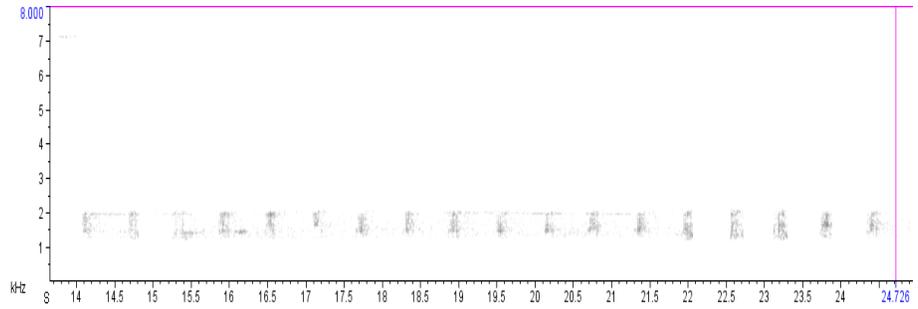
Aulacorhynchus prasinus

Canto



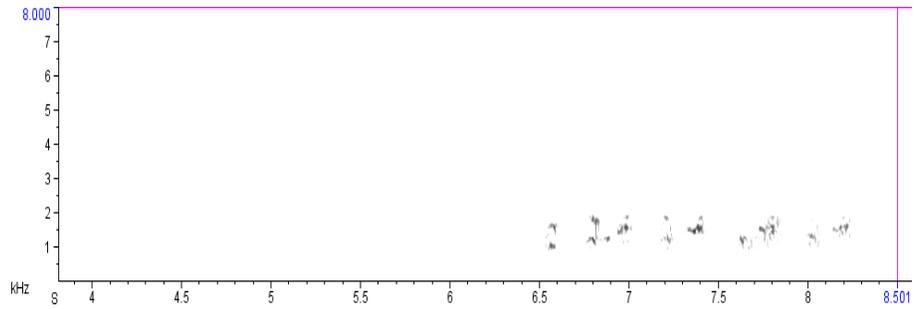
²¹ Este sonido se grabo a una gran distancia, por lo que no fue posible obtener un espectrograma claro.

Ramphastos sulfuratus
Canto

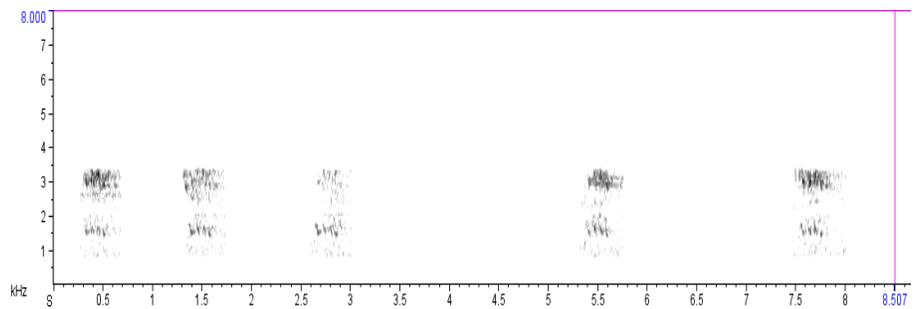


Familia: Picidae

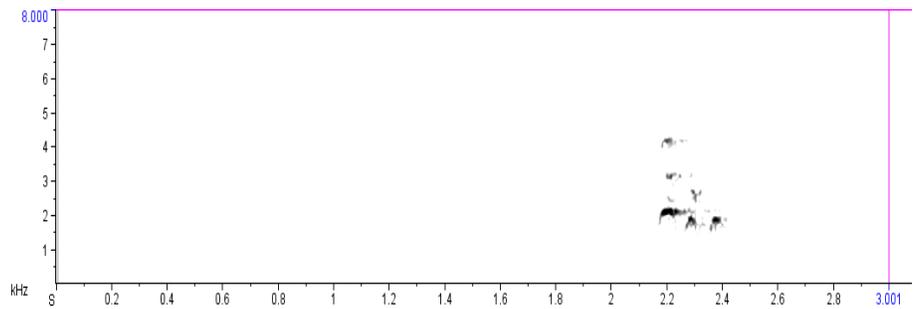
Melanerpes formicivorus
Canto



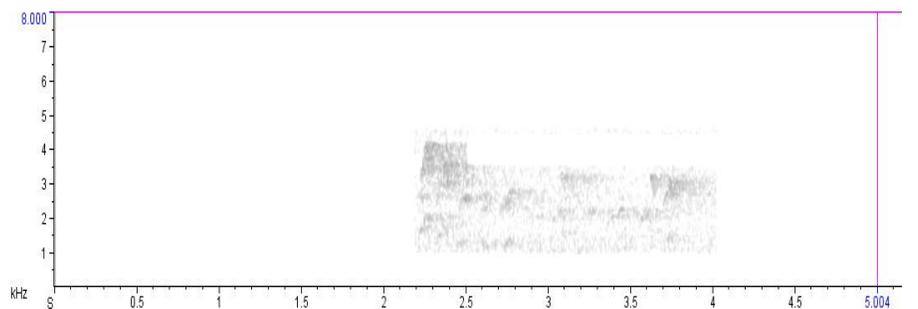
Melanerpes aurifrons
Canto



Veniliornis fumigatus
Canto



Dryocopus lineatus
Canto

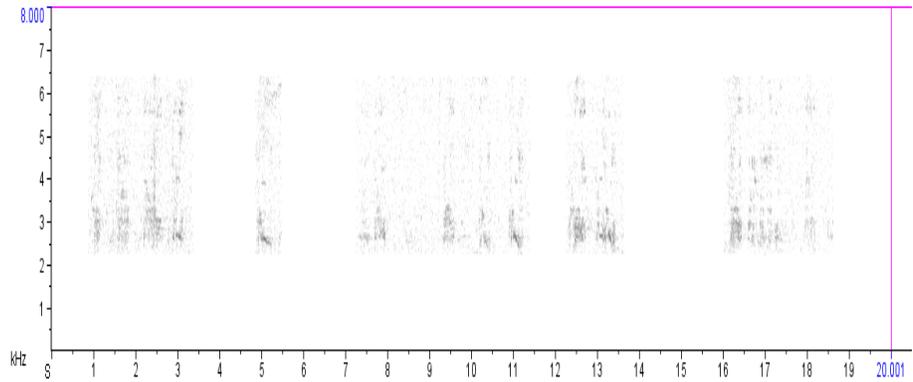


Orden: Psittaciformes

Familia: Psittacidae

Amazona albifrons

Llamado

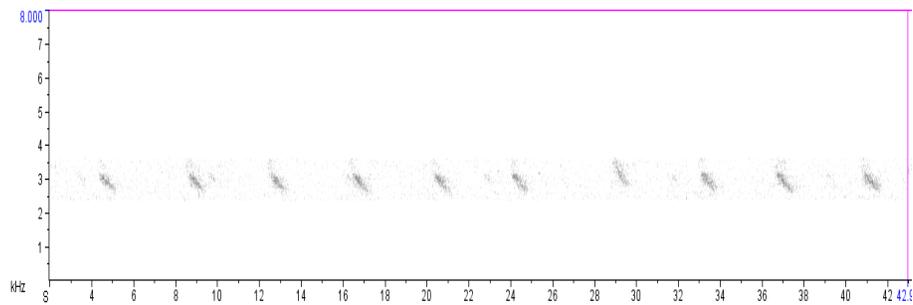


Orden Passeriformes

Familia: Formicariidae

Formicarius analis

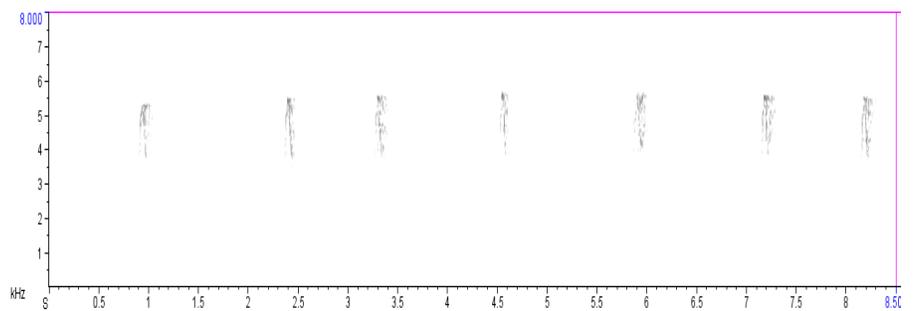
Canto



Familia: Furnariidae

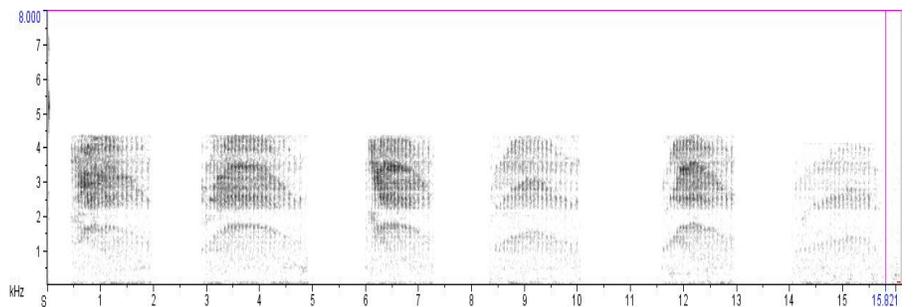
Sclerurus mexicanus

Llamado

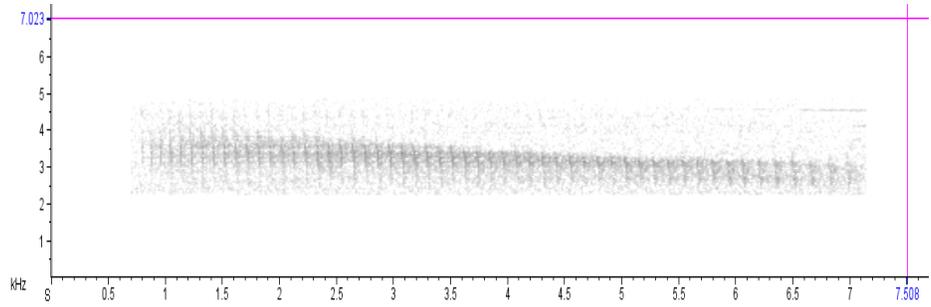


Sittasomus griseicapillus

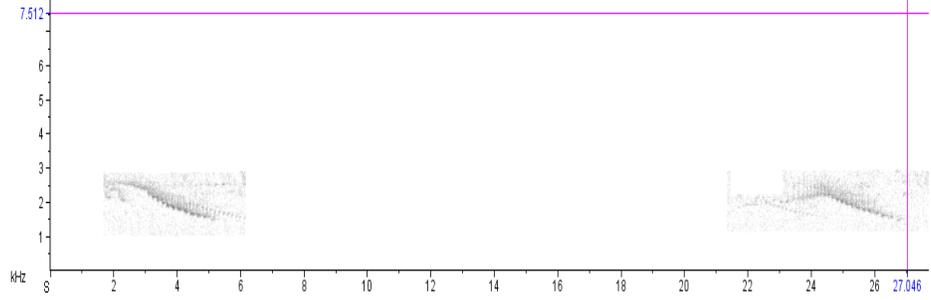
Canto



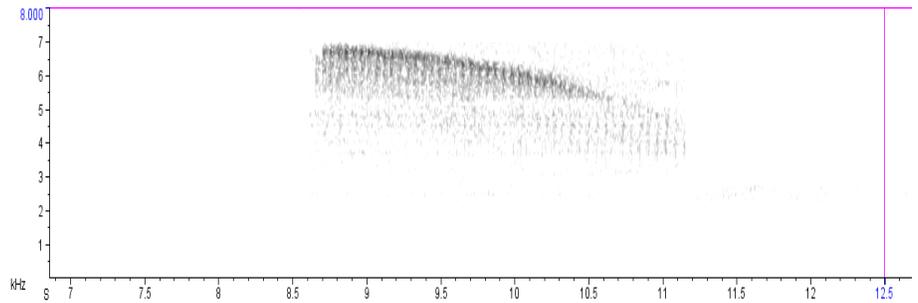
Dendrocincla anabatina
Canto



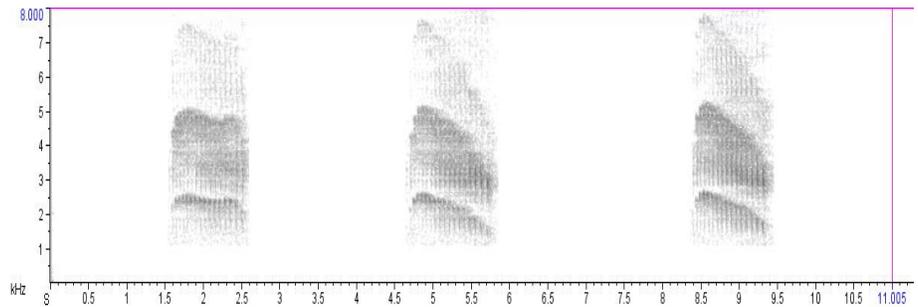
Xiphorhynchus flavigaster
Canto



Xenops minutus
Canto

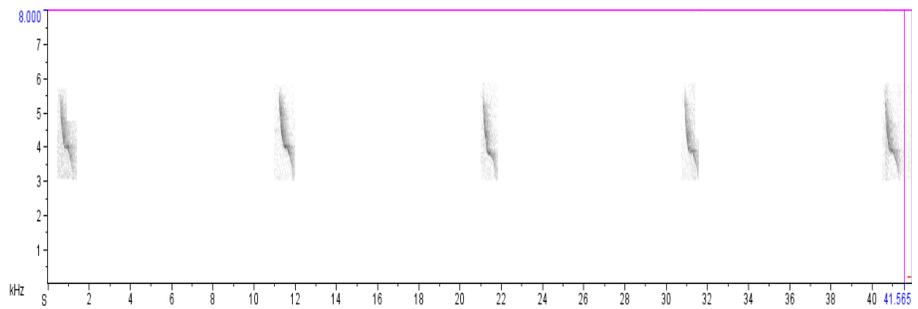


Anabacerthia variegaticeps
Canto

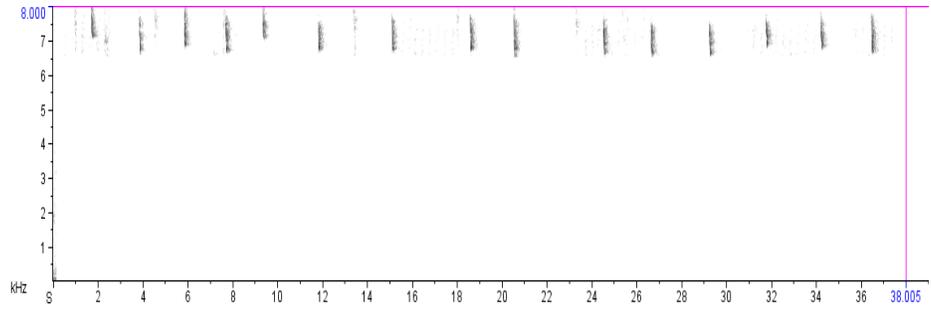


Familia: Tyranidae

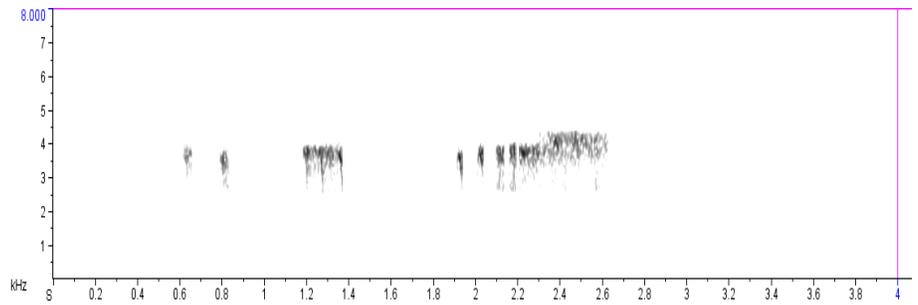
Myiopagis viridicata
Llamado



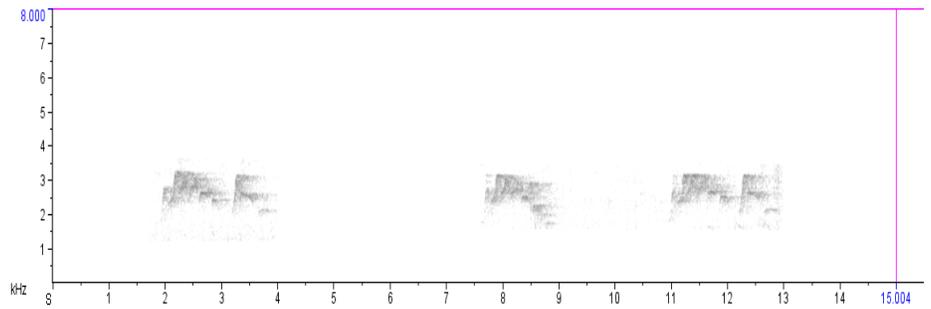
Empidonax flavescens
Llamado



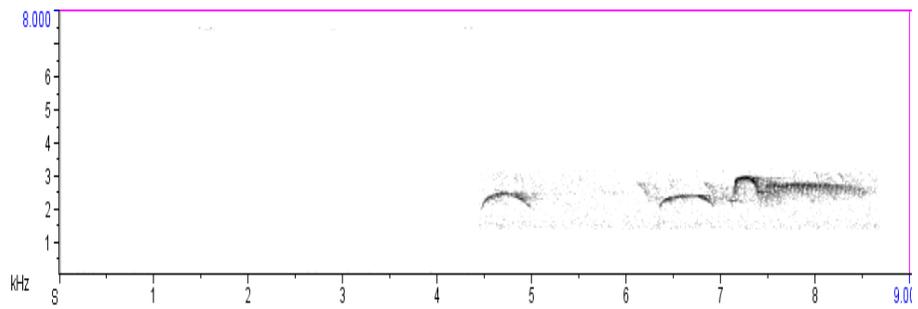
Sayornis nigricans
Canto



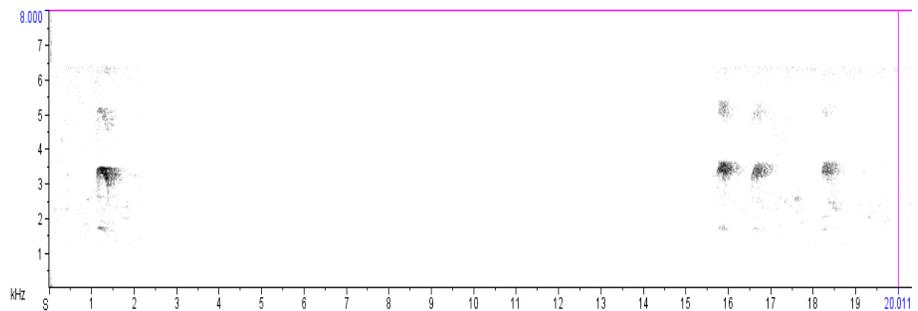
Attila spadiceus
Canto



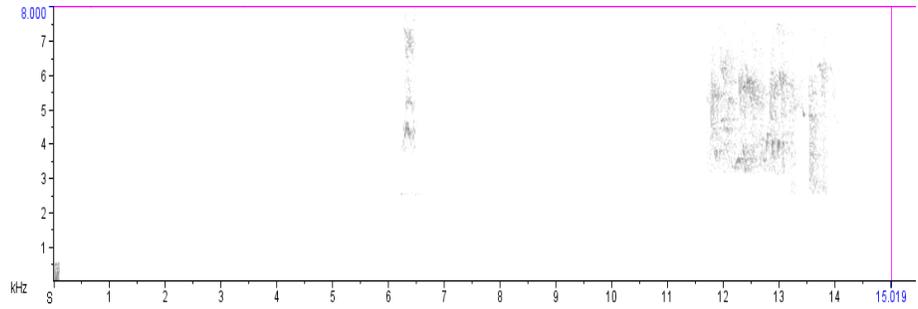
Myiarchus tuberculifer
Canto



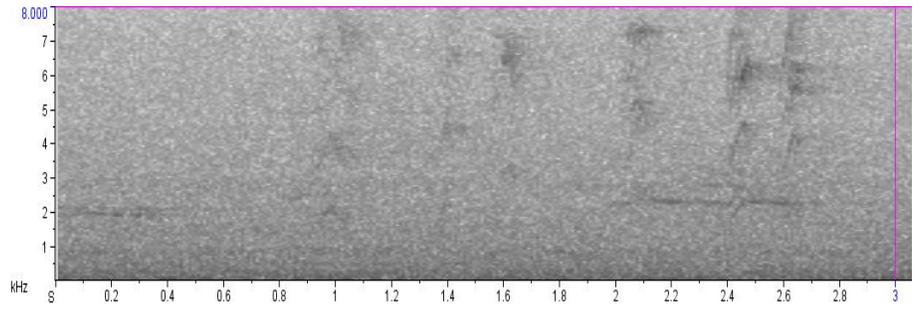
Pitangus sulphuratus
Llamado



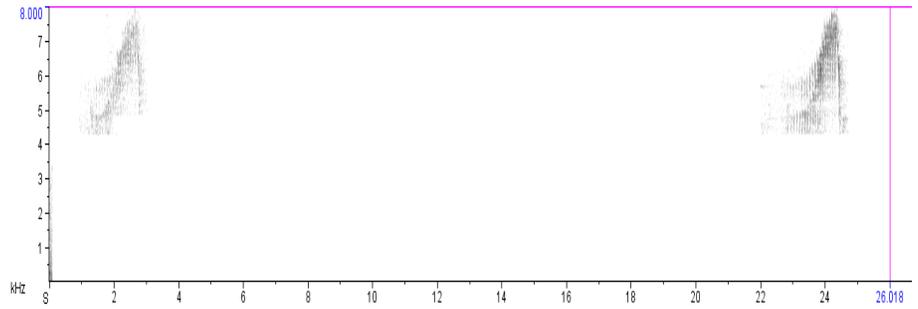
Myiodynastes luteiventris
Canto



Tyrannus couchii
Llamado

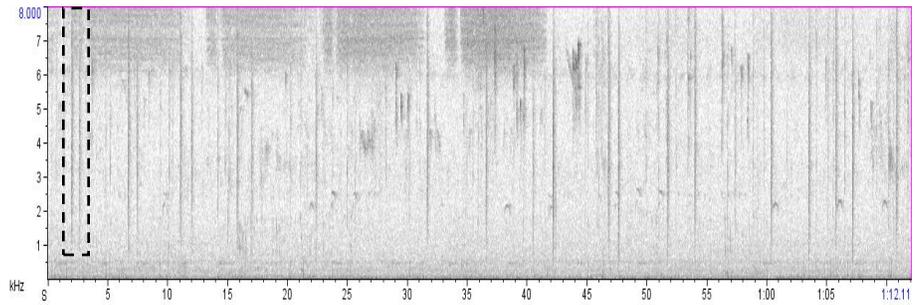


Tyrannus melancholicus
Canto



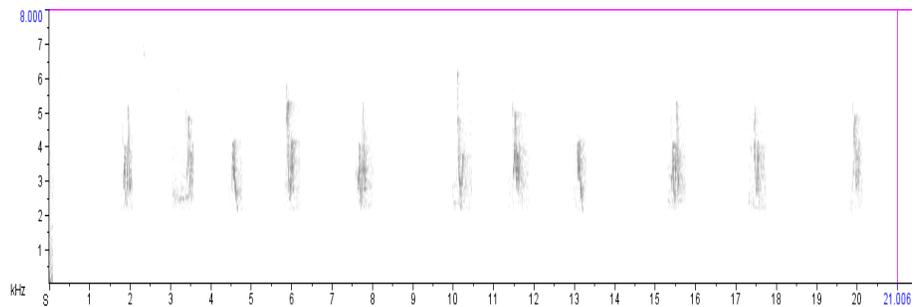
Familia: Pipridae

Pipra mentalis
Sonido mecánico,
producido por las plumas
de las alas.

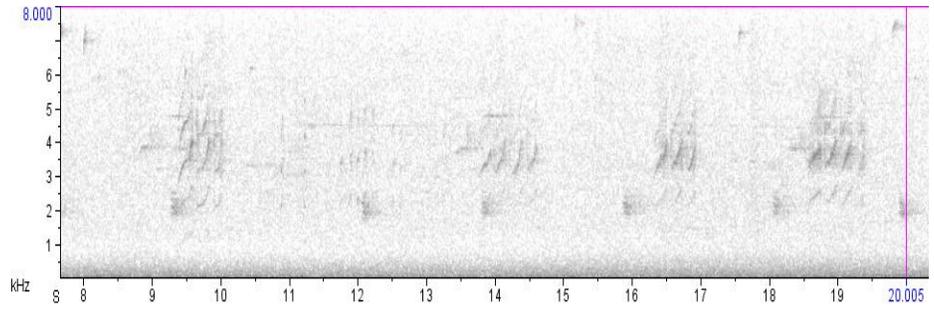


Familia: Vireonidae

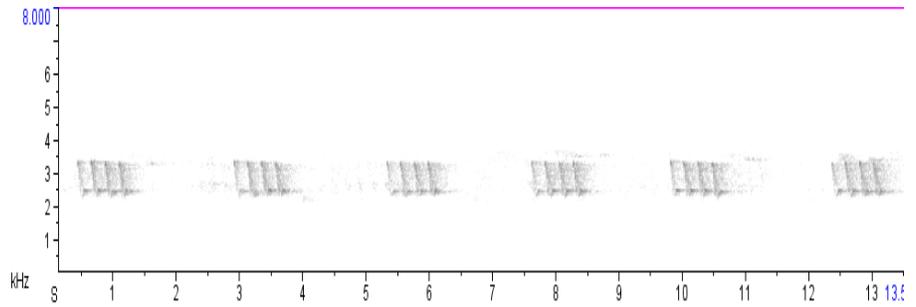
Hylophilus decurtatus
Canto



Hylophilus ochraceiceps
Canto

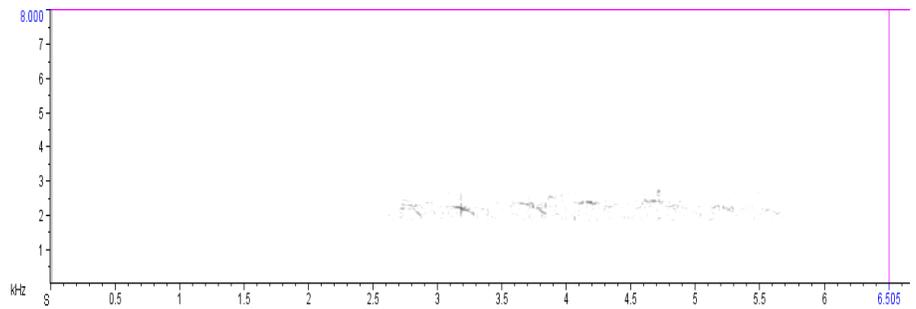


Vireolanius pulchellus
Llamado

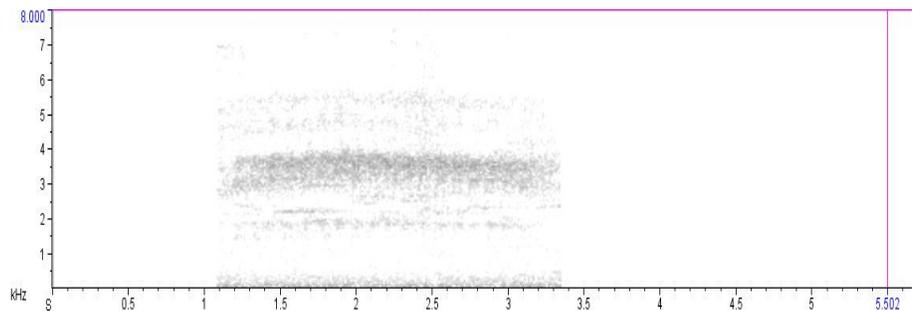


Familia: Corvidae

Psilorhinus morio
Llamado

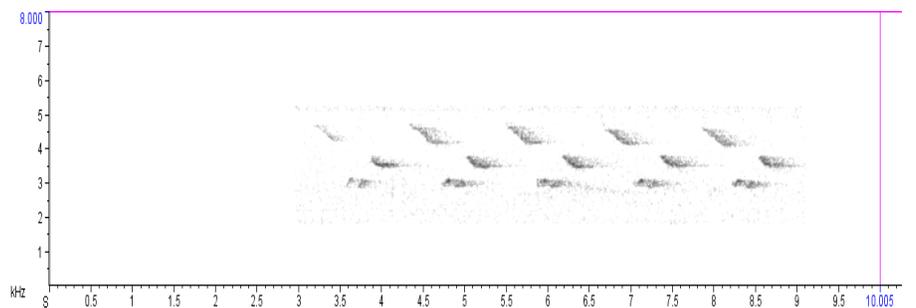


Cyanocorax yncas
Canto

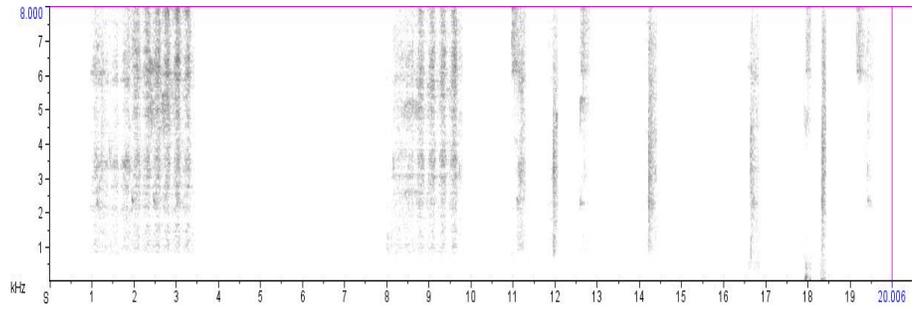


Familia: Troglodytidae

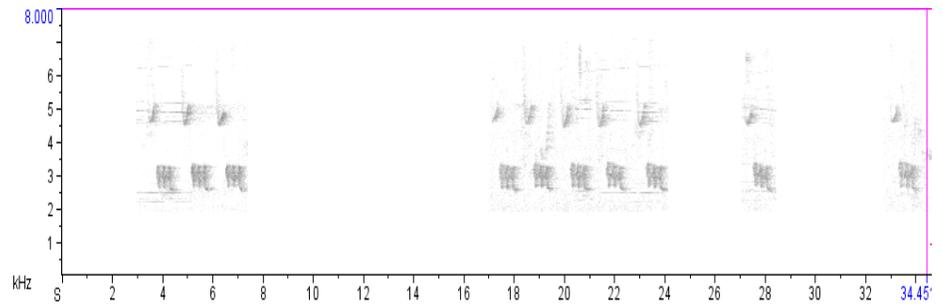
Thryothorus maculipectus
Canto



Campylorhynchus zonatus
Canto

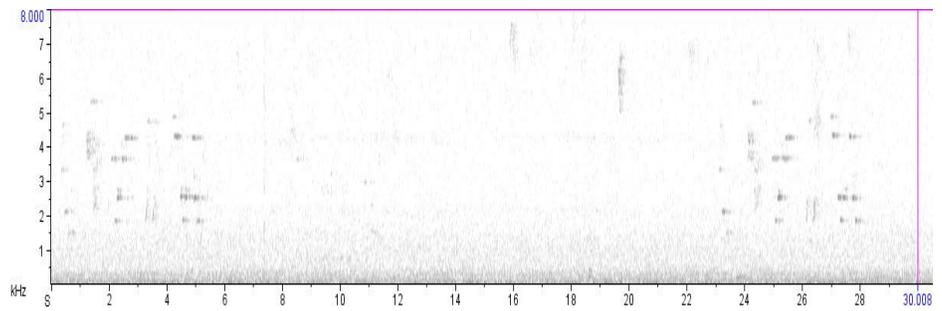


Henicorhina leucosticta
Canto

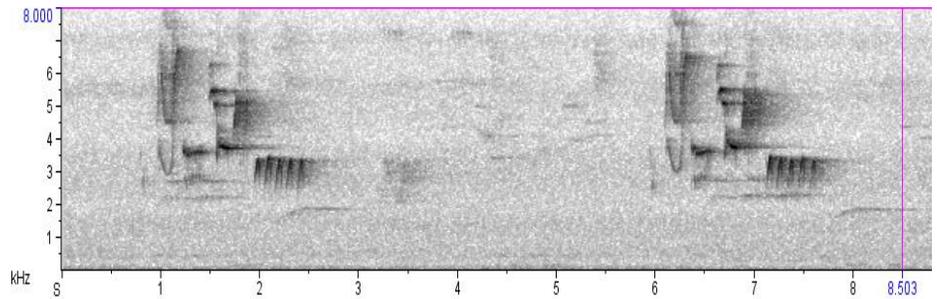


Familia: Turdidae

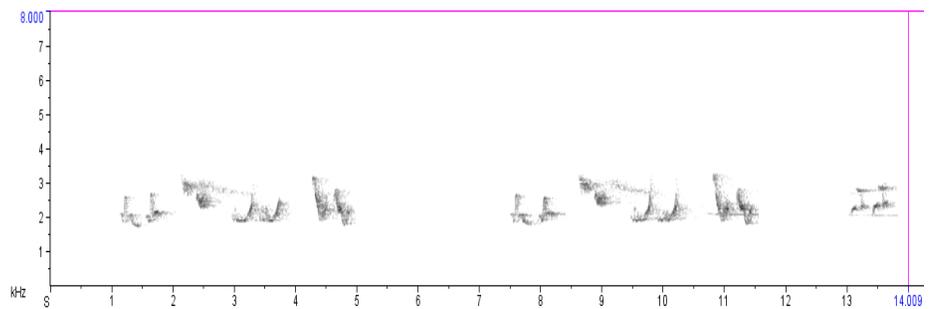
Myadestes unicolor
Canto



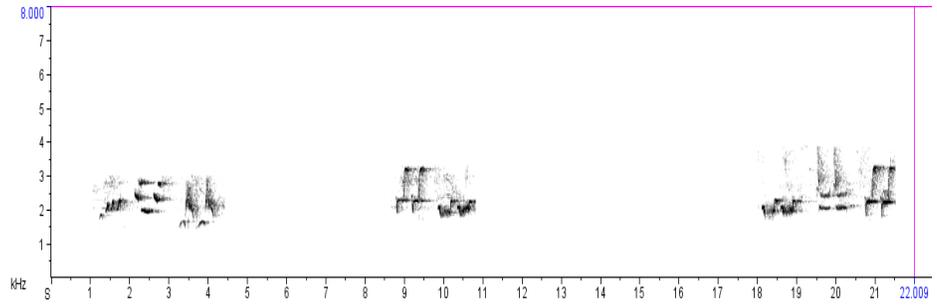
Catharus mexicanus
Canto



Turdus grayi
Canto

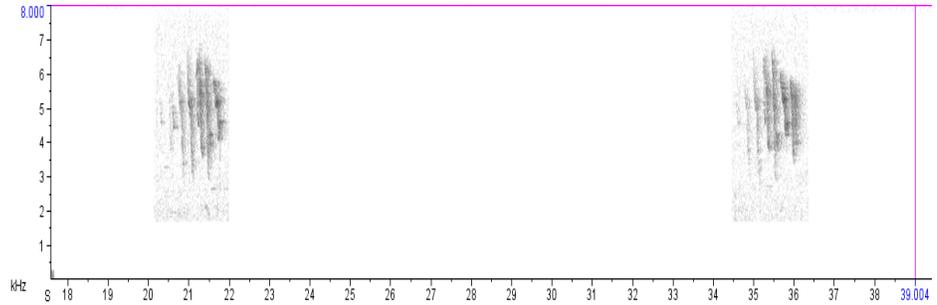


Turdus assimilis
Canto

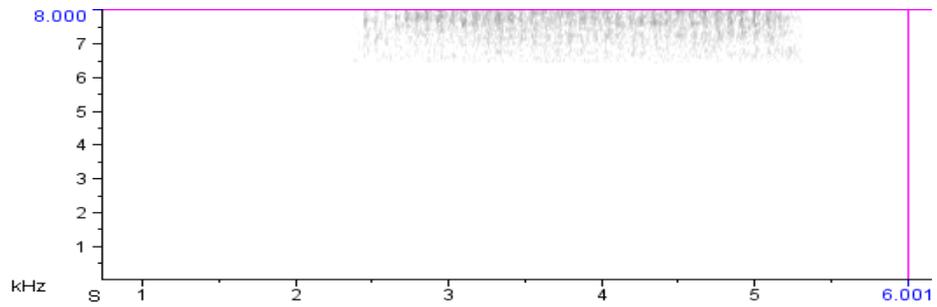


Familia: Parulidae

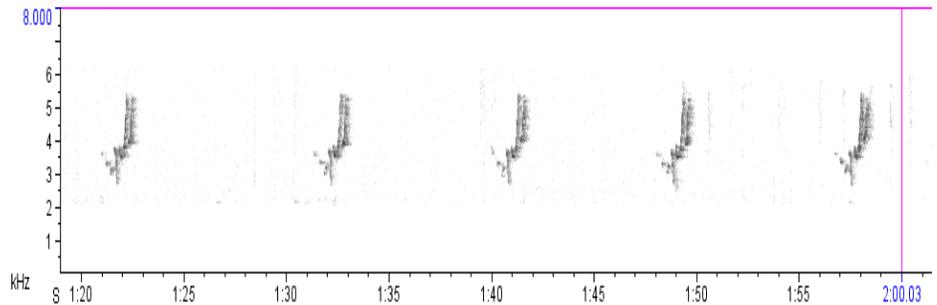
Seiurus aurocapilla
Canto



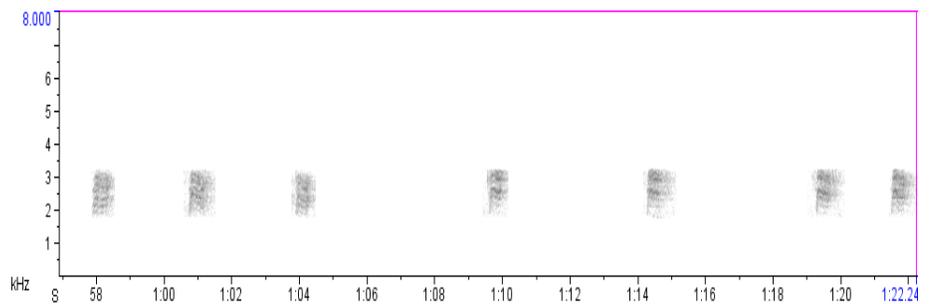
Helminterus vermivorum
Canto



Basileuterus culicivorus
Canto

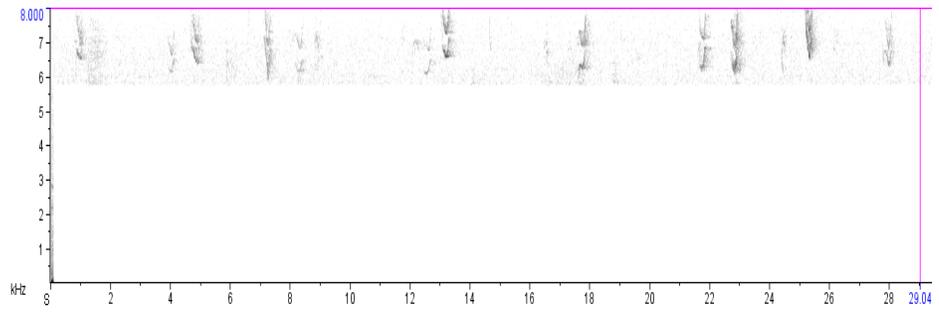


Icteria virens
Llamado

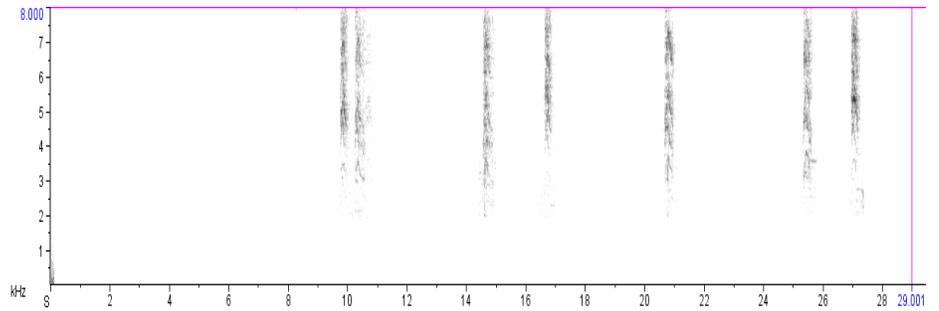


Familia: Thraupidae

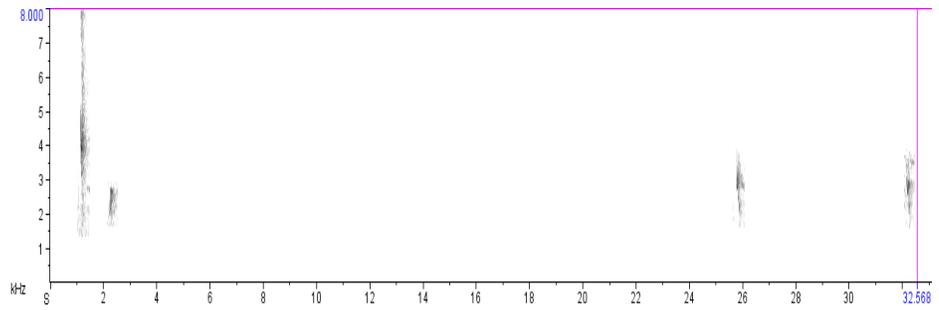
Eucometis penicillata
Llamado



Cyanerpes cyaneus
Llamado

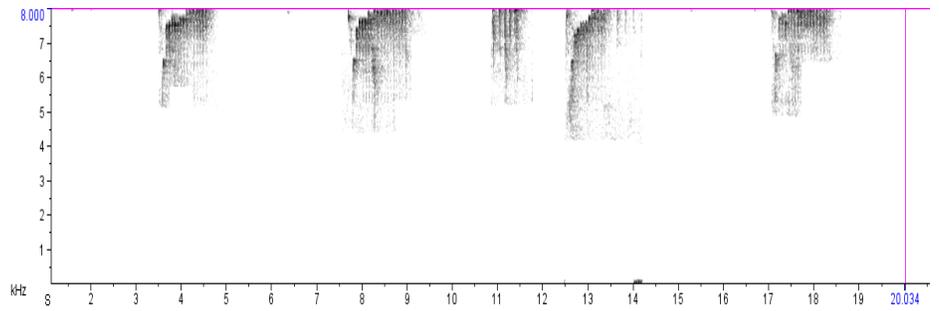


Saltator atriceps
Canto

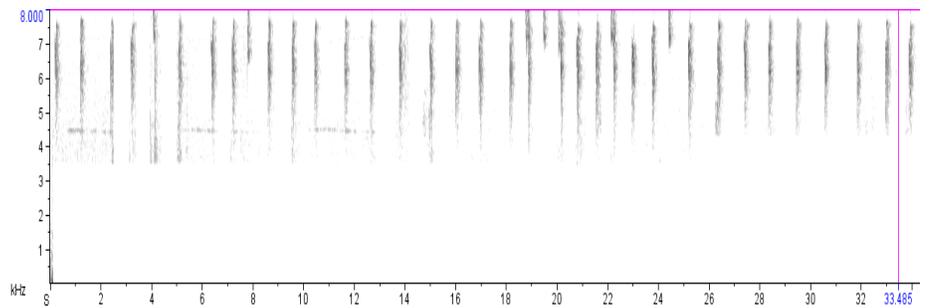


Familia:Emberizidae

Arremon aurantirostris
Canto

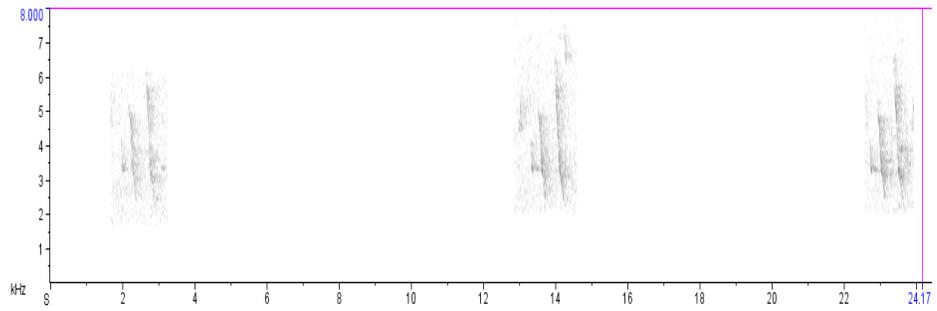


*Chlorospingus
ophthalmicus*
Canto

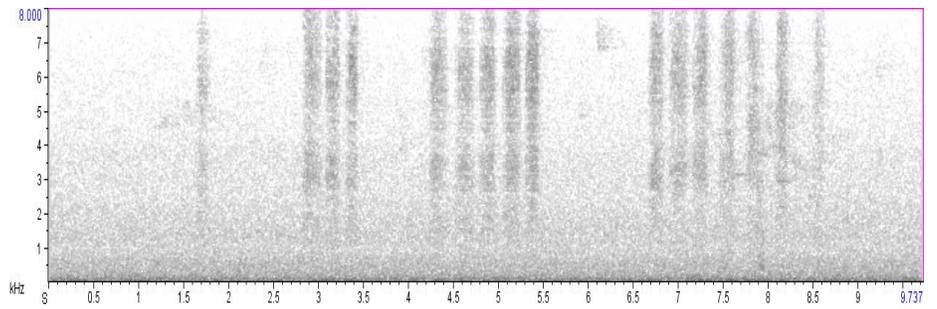


Familia: Cardinalidae

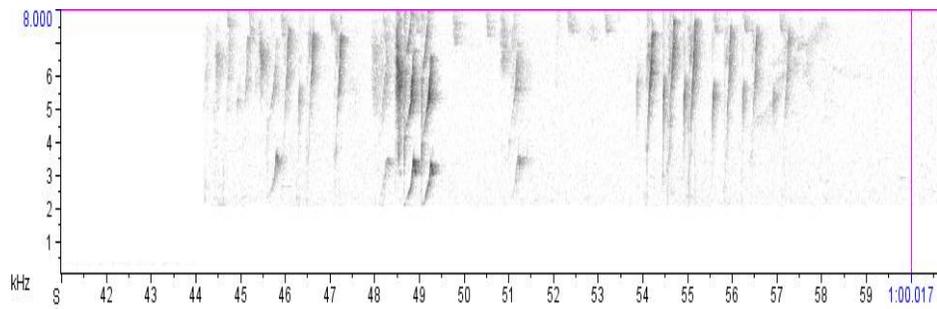
Piranga leucoptera
Canto



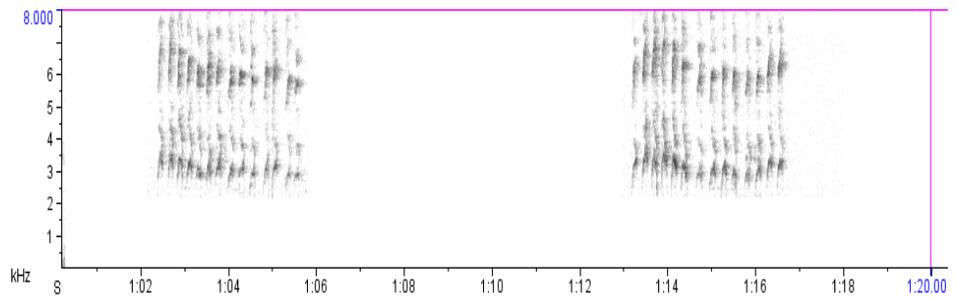
Habia fuscicauda
Canto



*Caryothraustes
poliogaster*
Canto

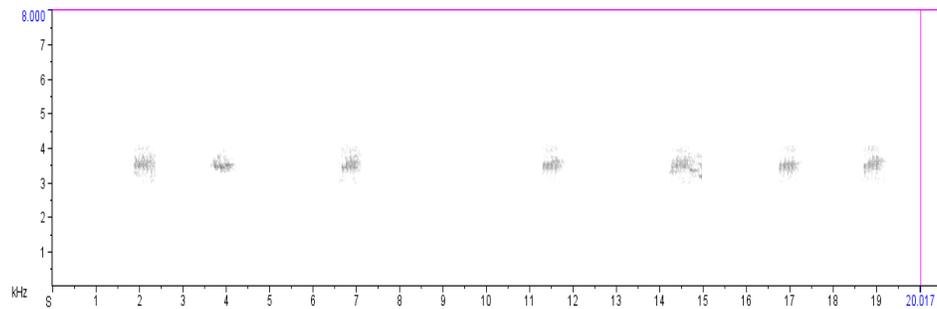


Granatellus sallaei
Canto



Familia: Icteridae

Agelaius phoeniceus
Llamado



Familia: Fringillidae

Euphonia affinis

Llamado

