

Informe final* del Proyecto H028
Vocalizaciones de aves mexicanas en análisis biogeográficos y reconstrucción filogenética

Responsable: Dr. Juan Francisco Ornelas Rodríguez
Institución: Instituto de Ecología AC
División de Ecología y Comportamiento Animal
Departamento de Ecología y Comportamiento Animal
Dirección: Km 2.5 Antigua Carretera a Coatepec # 351, Congregación El Haya,
Xalapa, Ver, 91070 , México
Correo electrónico: francisco.ornelas@inecol.edu.mx
Teléfono/Fax: Tel: 91(28)18 6000 Fax: 91(28)18 7809
Fecha de inicio: Junio 15, 1996
Fecha de término: Marzo 17, 2000
Principales resultados: Base de datos, Informe final
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Ornelas Rodríguez, J. F. y C. González Zaragoza. 1999. Vocalizaciones de aves mexicanas en análisis biogeográficos y reconstrucción filogenética. Instituto de Ecología AC. División de Ecología y Comportamiento Animal. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H028.** México D. F.

Resumen:

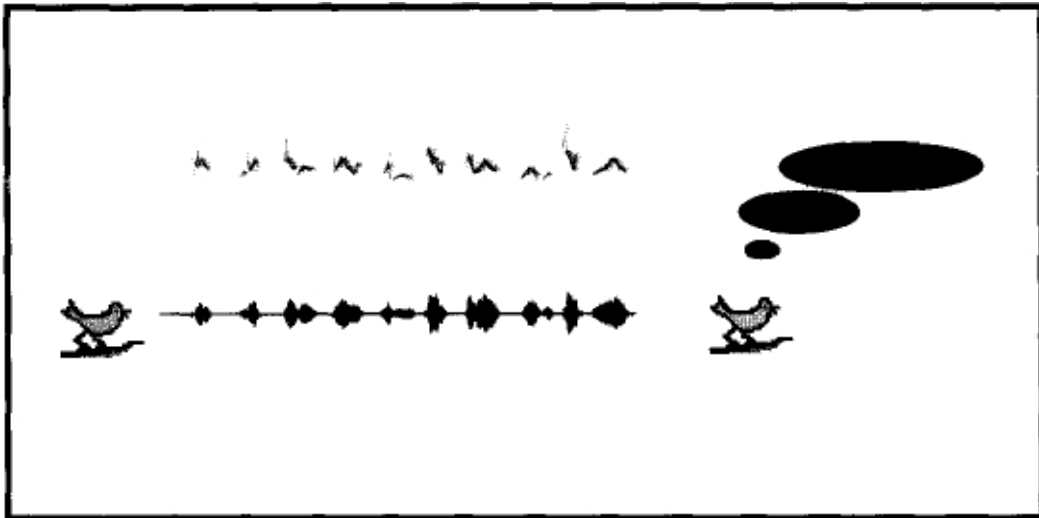
Los cantos y llamados de las aves han sido de gran utilidad en estudios taxonómicos, biogeográficos y de conservación, sin embargo, se dista mucho de poder sintetizar dicha información para entender la evolución de los cantos entre las aves. No es hasta muy recientemente que se está intentando abordar preguntas sobre las causas que dieron origen al canto entre las aves, sus funciones, sobre la variación entre distintos grupos filogenéticos a distintas escalas en tiempo y espacio, y sobre la variación entre individuos. Para poder abordar este tipo de preguntas de investigación, es necesario describir, analizar y ordenar en bibliotecas de sonidos y/o bancos de información nacionales, el repertorio vocal de grupos de organismos como las aves. El objetivo general de éste proyecto es iniciar un banco de sonidos originales de aves mexicanas georreferenciada con el 50% de la avifauna nacional, ésta base se formará exclusivamente con grabaciones originales que los participantes del proyecto obtendrán en distintas regiones del país. Además, se generará un catálogo de sonogramas de cada una de las especies que formen la colección final de sonidos (500 cortes). El catálogo estará acompañado de una base de datos que contenga la información mínima esperada por la CONABIO y las características físicas del sonido. El sonido debidamente editado, analizado y acompañado de una base de datos será almacenado en distintos formatos (CD ROM) para un uso posterior y mantenimiento curatorial. Las grabaciones obtenidas en distintas regiones del país serán además utilizadas en líneas de investigación en desarrollo, formas taxonómicas de oriente y occidente mexicanos y el uso de vocalizaciones en reconstrucción filogenética.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Informe Final

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONABIO

**Proyecto H028:
"Vocalizaciones de Aves Mexicanas en
Análisis Biogeográficos y Reconstrucción Filogenética"**



**Dr. Juan Francisco Ornelas
Biól. Clementina González Zaragoza**

Contenido

| | |
|---|----|
| I. Introducción | 3 |
| Variación Geográfica de Vocalizaciones | 3 |
| Vocalizaciones y Relaciones Filogenéticas en Colibríes | 3 |
| II. Antecedentes | 4 |
| III. Objetivo General | 5 |
| IV. Objetivos particulares | 5 |
| V. Metodología | 5 |
| Colecta de Sonidos | 5 |
| Edición de Sonidos | 5 |
| Análisis de Sonidos | 5 |
| Almacenamiento de Sonidos | 6 |
| Base de Datos | 6 |
| VI. Resultados | 6 |
| Banco de sonidos de aves mexicanas georreferenciado | 6 |
| Construcción de sonogramas | 6 |
| Elaboración de manuscritos | 6 |
| Variación de dialectos entre formas del oriente y occidente mexicanos | 13 |
| Complejidad vocal en colibríes y uso de vocalizaciones en reconstrucción filogenética | 17 |
| Formación de recursos humanos | 18 |
| a) Entrenamiento de estudiantes | 18 |
| b) Colaboración con otros proyectos de investigación | 19 |
| Obtención de recursos e infraestructura | 19 |
| a) Laboratorio de Bioacústica (LABIEXAL) | 19 |
| b) Proyecto de CONACyT | 20 |
| Base de datos, sonidos, sonogramas | 21 |
| a) Contenido de la base de datos | 21 |
| b) Especies grabadas | 21 |
| c) Formación de una base de datos relacionable | 27 |
| d) Áreas geográficas de grabación | 29 |
| e) Análisis de datos | 30 |
| Obtención de caracteres taxonómicos a partir de datos acústicos | 32 |
| Identificación de hipótesis de trabajo | 36 |
| VII. Discusión y Conclusiones | 39 |
| Autoevaluación y futuro de la base de datos | 39 |
| Comentario final | 39 |
| Lista de Figuras | 41 |
| Anexo. 1. Aclaraciones de la primera evaluación final | |

1. INTRODUCCIÓN

La variación geográfica en vocalizaciones de aves es bien conocida entre oscines, sin embargo, poco se ha avanzado para entender variaciones geográficas entre no-oscines y variación de vocalizaciones entre individuos, poblaciones, y razas geográficas. Las vocalizaciones son de gran utilidad en estudios taxonómicos y de conservación. Sin embargo, se dista mucho de tener esta información accesible en bibliotecas de sonidos y en bancos de información nacionales. La tecnología de sistemas digitales nos permite la posibilidad de ir generando tal información, ya que despliega espectrográficamente el sonido en tiempo real y permite un análisis digital. Es decir, los investigadores pueden analizar el sonido y una gran cantidad de datos generados de éste para someterlos a tratamientos estadísticos multivariados de una manera rápida. Asimismo, programas de correlaciones cruzadas permiten al investigador de una manera objetiva, comparar sílabas producidas por distintos individuos, poblaciones, y en áreas geográficas separadas. Las computadoras por otro lado, permiten al investigador manipular señales acústicas producidas de manera natural o artificial para llevar a cabo sesiones tutoriales y de "playback". Ante tales adelantos tecnológicos, el investigador no solamente puede llevar a cabo su trabajo de una manera más objetiva, sino que existe la posibilidad de "almacenar" todo tipo de sonidos de una manera más rápida y que ésta sea accesible a todo tipo de usos (un banco de sonidos que opere como una biblioteca).

Variación Geográfica de Vocalizaciones.— Los experimentos de cruza de nidadas sugieren que las llamadas de algunas especies de aves oscines son heredadas. Por otro lado, como resultado del aprendizaje, la variación microgeográfica (entre vecinos) y macrogeográfica (dialectos regionales) en los cantos de las aves son un fenómeno muy amplio en aves oscines. También se ha demostrado que la variación de los dialectos se puede alcanzar a través de la tradición cultural, por lo que es necesario entender la diversidad biológica no solo de la manera tradicional (conservación del genoma), sino desde un punto de vista cultural. Es decir, los dialectos son finalmente información que se transmite de generación a generación, misma que hay que entender (por ejemplo, ¿cuales son los mecanismos y procesos que originan segregaciones culturales en una población?) y mantener (conservación de líneas culturales). Una colección de sonidos que incluya dicha variación puede ser una herramienta poderosa para entender el efecto de la geografía sobre la variación en las vocalizaciones y en la diversificación de aves de nuestro país.

Vocalizaciones y Relaciones Filogenéticas en Colibríes.— En las tres últimas décadas han aparecido en la literatura varias contribuciones sobre las relaciones taxonómicas de colibríes,

en donde los investigadores han usado caracteres morfológicos tradicionales o hibridización de ADN para establecer dichas relaciones taxonómicas. Algunos trabajos se refieren solo a algunos grupos de colibríes (e.g., géneros) o son descripciones de nuevas especies, pero pocos han explorado la evolución de caracteres o relaciones filogenéticas dentro del grupo. Por ejemplo, se acepta que el grupo de los colibríes es un grupo monofilético formado por dos grupos, los ermitaños (*Phaethorninae*) y las especies restantes (*Trochilinae*). También se acepta que el grupo de los ermitaños es monofilético y el más primitivo de los colibríes. Se han analizado base de datos con caracteres morfológicos y conductuales y de hibridización de ADN, en donde se ha mostrado que la complejidad de la topología del árbol de los colibríes es mayor que la dicotomía generalmente aceptada en la literatura (ermitaños y no-ermitaños); lo cual sugiere que la trayectoria evolutiva del grupo de los colibríes es mucho más compleja de lo que se había pensado.

II. ANTECEDENTES

Los géneros *Phaethornis* (25 especies) y *Amazilia* (32 especies), son los más grandes en número de especies de la familia y parecen estar particularmente predispuestos a formar nuevas especies. Desde hace cinco años estamos trabajando con el género *Amazilia* porque se ha sugerido que el éxito ecológico y evolutivo del grupo (diversidad taxonómica) está asociado a una serie de características morfológicas y conductuales. El grupo de *Amazilia* incluye colibríes de tamaño medio, monómorficos en plumaje y casi sin variación en tamaño, con una amplia distribución latitudinal y altitudinal, y movilidad. En la literatura, las "Amazilias" son conocidas como especies "agresivas", territoriales y "generalistas", sobre todo cuando forrajean. Varios autores han propuesto que éstas características les ha permitido dominar y definir la estructura de comunidades nectarívoras en los neotrópicos. Sin embargo, esta hipótesis ecológica no explica como se ha estimulado la diversificación de este grupo, y como se mantiene hoy día.

Se ha demostrado recientemente en la literatura que varias especies de colibríes aprenden a cantar como lo hacen otros pájaros conocidos como oscines. Esto es muy interesante dado que se creía que solo los passerines eran capaces de aprender sus cantos. Un estudio comparativo de la estructura vocal en este grupo de colibríes puede ser interesante para ayudar a entender sus relaciones filogenéticas y para empezar a entender como la complejidad vocal en este grupo de aves ha moldeado su diversificación taxonómica. El análisis de los cantos que tengo puede ser un buen punto de partida para colaborar con un estudiante graduado que lleve a cabo un análisis filogenético en donde los caracteres vocales sean usados en la reconstrucción filogenética del grupo "Amazilia", y luego contraste los resultados con otras hipótesis basadas en datos morfológicos más tradicionales y moleculares.

III. OBJETIVO GENERAL

- (1) Elaborar un banco de sonidos de aves mexicanas georreferenciada lo más completo posible,
- (2) Elaborar los sonogramas correspondientes a los sonidos,
- (3) Elaborar al menos un manuscrito sobre cada uno de los objetivos particulares.

IV. OBJETIVOS PARTICULARES

- (1) Variación de dialectos entre formas geográficas entre el oriente y occidente mexicano
- (2) Complejidad vocal en colibríes y uso de vocalizaciones en reconstrucción filogenética

V. METODOLOGÍA

Colecta de Sonidos.— Se realizaron grabaciones de aves en distintas localidades de los Estados de Veracruz, Chiapas, Jalisco y Puebla principalmente, utilizando grabadoras SONY TCM-5000 EV y Marantz PMD-222, micrófonos direccionales Sennheiser ME-80 y ME-88 y párabolas Roshe de 24" y Telinga Pro V. En cada grabación se identificó la especie de ave grabada, y se incluyó información sobre el contexto en que se encontraba vocalizando así como el sexo, la edad, el número de individuos grabados y la distancia aproximada de grabación en caso de haber observado el ejemplar.

Edición de Sonidos.— De las grabaciones obtenidas en el campo, se seleccionaron segmentos o cortes para cada especie considerando la calidad de la grabación. Estos cortes se localizaron en cada cinta con el número de contador de la grabadora y se digitalizaron en una computadora Power Macintosh 8500/150 utilizando el programa Canary 1.2.4. En este mismo programa se generaron sonogramas (gráficas de la frecuencia de la señal con respecto al tiempo) donde se filtró el ruido ambiental de cada corte en la medida que se pudo.

Análisis de Sonidos.— Una vez que el sonido fue editado, éste se analizó en Canary 1.2.4., midiendo la duración total del canto y de las notas en segundos, frecuencias altas y bajas de la nota introductoria (en caso de poseerla), de la primera sílaba y de la segunda sílaba. Se midió también la duración en segundos de los intervalos entre la primera y segunda sílaba y el promedio de los intervalos de silencio de todo el corte, y por último se calculó el número de frases por segundo, y el número de notas por sílaba. Parte de la información generada con este tipo de análisis se utilizó para comparar vocalizaciones de aves de distintas localidades.

Almacenamiento de Sonidos.— Las grabaciones originales son almacenadas en cintas y los sonidos editados son almacenados en discos compactos.

Base de Datos.— Se generó una base de datos que contiene 10 campos llamados BIBLIO, CURATO, GEOGRA, INSTIT, PERSON, RESTRICT, TAXONO, COMPLE, DATBAS y DATTEC. Estos campos poseen distintos tipos de contenido. Desde información acerca de la especie grabada, los datos técnicos de la grabación y el análisis de los sonidos, hasta la situación geográfica de las localidades donde se grabó y los datos de la institución y personas que han intervenido en esta colección.

VI. RESULTADOS

Banco de sonidos de aves mexicanas georreferenciado

A la fecha de este informe final hemos logrado conjuntar en una base de datos (10 entidades y 153 campos) el total de 283 cortes de 283 especies distribuidas en México.

Construcción de sonogramas

Cada uno de los cortes de vocalizaciones (registros) incluidos en la base de datos ha sido debidamente georreferenciado. Cada registro en la base de datos está acompañado del sonido, el sonograma y sus medidas correspondientes.

Elaboración de manuscritos

Este informe incluye los resúmenes de dos manuscritos, el primero de ellos ha sido aceptado en *J. of Field Ornithology* (incluimos copia del manuscrito) y el otro fue presentado en el VI Neotropical Ornithology Congress de Monterrey, NL en octubre de 1999. Otros manuscritos en proceso otorgarán los créditos correspondientes al apoyo recibido por la CONABIO (ver sección de objetivos particulares).

J.F. ORNELAS, J. Uribe & C. González. Departamento de Ecología y Comportamiento Animal, Instituto de Ecología A. C., Apdo. Postal 63, 91000 Xalapa, Veracruz, México.

VOCALIZATIONS AND AERIAL DISPLAYS OF THE AMETHYST-THROATED HUMMINGBIRD (*Lampornis amethystinus*) AT MANANTLÁN, JALISCO, MÉXICO

Little is known about hummingbird vocal repertoires and the accompanying dynamic aerial displays. In this paper, we describe the dynamic dive display and vocalizations of Amethyst-throated Hummingbird from Western Mexico and examine the physical structure and possible functions of four vocalization types. Territorial, feeding and display calls share acoustic characteristics with several hummingbird species, whereas male song is a complex sound composed of a phrase that sounds as a low pitched buzzing, warbling notes with highly complex elements, and lacks sounds called harmonics observed in other species of *Lampornis*. The buzzing sound is emitted at a lower frequency than those buzzing sounds emitted by other closely related species (Fig. 1).

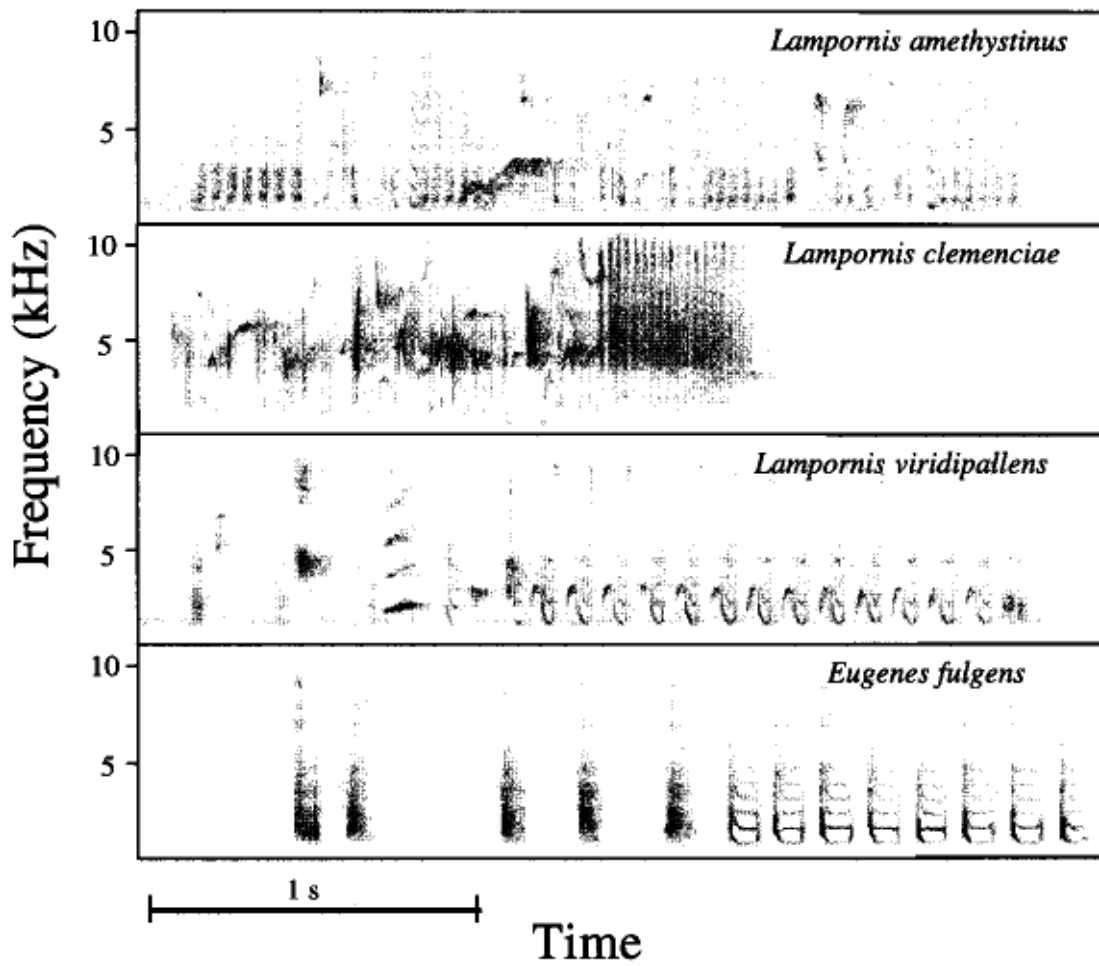


Figura 1. Comparación entre el canto del macho de *Lampornis amethystinus* con el canto de otras especies cercanamente emparentadas. Nótese la complejidad de los cantos donde muchas frases y sílabas se pueden identificar por varios elementos.

C. GONZALEZ-ZARAGOZA¹, J.F. Ornelas¹, A. Espinosa de los Monteros¹, L. Márquez-Valdelamar² & H. Gómez de Silva³. 1. Departamento de Ecología y Comportamiento Animal, Instituto de Ecología A. C., Apdo. Postal 63, 91000 Xalapa, Veracruz, México, clemen@ecologia.edu.mx, ornelasj@ecologia.edu.mx, aespinos@ecologia.edu.mx. 2. Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos, ENEP-Iztacala, UNAM, Av. de los Barrios sin Los Reyes Iztacala, Tlanepantla, Edo. de México CP 54090, lmarq@servidor.unam.mx. 3. Instituto de Ecología, UNAM, Apdo, Postal 70-275, Ciudad Universitaria, UNAM C.P. 04510, México D.F., México, hgomez@miranda.ecologia.unam.mx

RECONSTRUCCIÓN FILOGENÉTICA Y EVOLUCIÓN DEL CANTO EN *Hylorchilus* (TROGLODYTIDAE)

Aunque los cantos de las aves pueden ayudar a resolver relaciones entre especies en distintos grupos de aves, raramente se usan como fuente de caracteres en reconstrucción filogenética (problemas de homoplasia y homología) (Fig. 2). Sin embargo, hay ciertos caracteres acústicos que dada su complejidad y resistencia a cambios evolutivos rápidos, pueden ser particularmente informativos en análisis filogenéticos a niveles supraespecíficos. En este trabajo reconstruimos las relaciones filogenéticas entre varios grupos de troglodítidos, para evaluar la monofilia entre *Hylorchilus* y *Catherpes* propuesta en base a la similitud de sus cantos. Para ello, colectamos caracteres morfológicos, ecológicos y conductuales de 26 especies de troglodítidos, que se utilizaron como base de un análisis cladístico. Resultados preliminares (Fig. 3) indican que el género *Hylorchilus* es el grupo hermano de *Catherpes* y junto con *Salpinctes* forman un grupo monofilético. Estos géneros viven en zonas rocosas, anidan en cavidades y cuevas, y a diferencia de otros troglodítidos no construyen nidos dormitorio. En cuanto a caracteres vocales, *Catherpes mexicanus* y las 2 especies de *Hylorchilus* comparten un rango de frecuencia similar que no está presente en ninguna otra especie del grupo (2.74 a 4.64 KHz). Los cantos de *C. mexicanus* y uno de los cantos de *Hylorchilus sumichrasti* consisten en una serie descendiente de notas aceleradas igualmente inflexionadas, que se desaceleran al final (Fig. 4). Por lo tanto, asumimos que las similitudes en las características vocales de *Hylorchilus* y *Catherpes* son el resultado de ancestría común (homologías verdaderas).

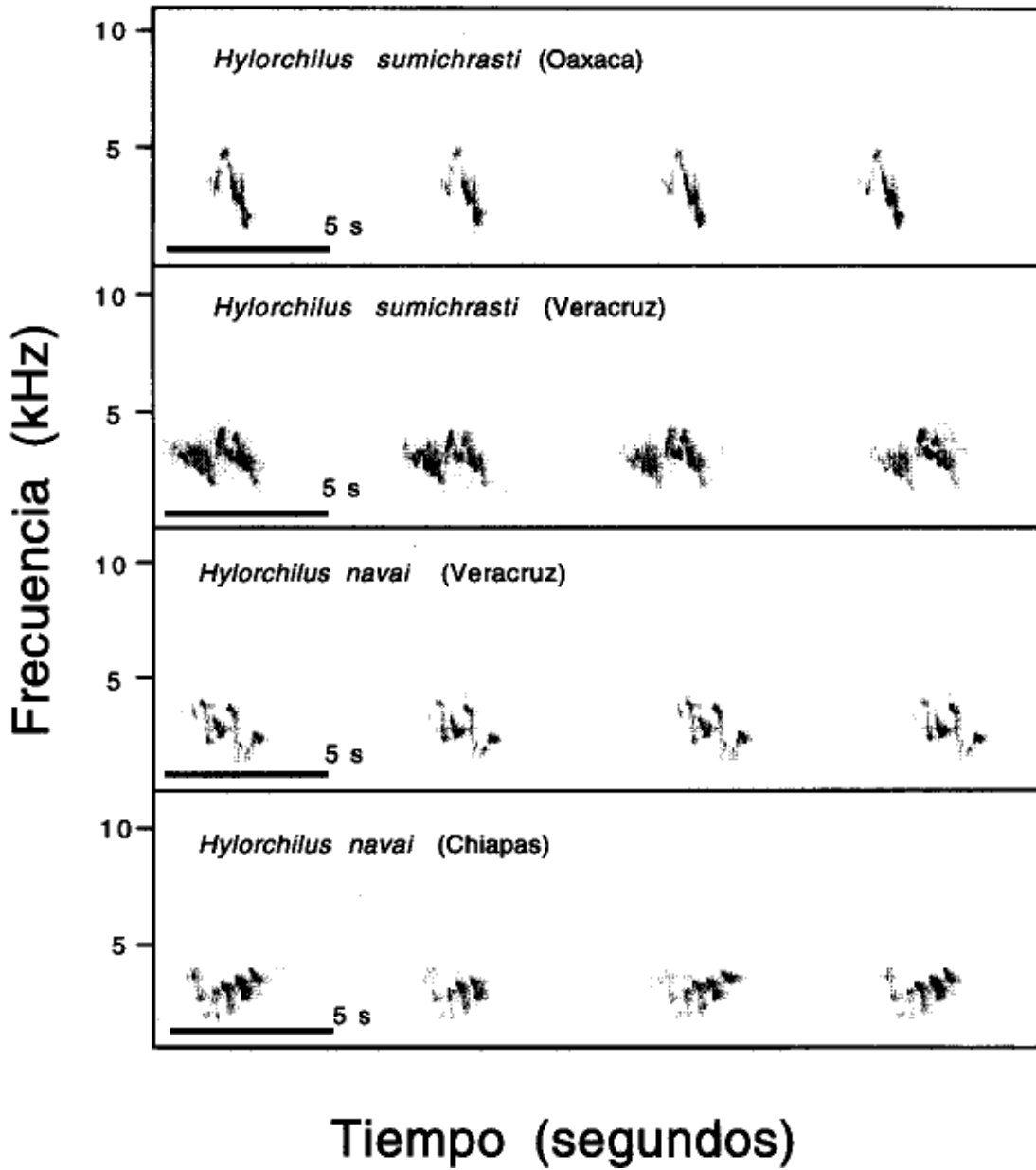


Figura 2. En esta figura se ilustra la variación poblacional de especies de *Hylorchilus*.

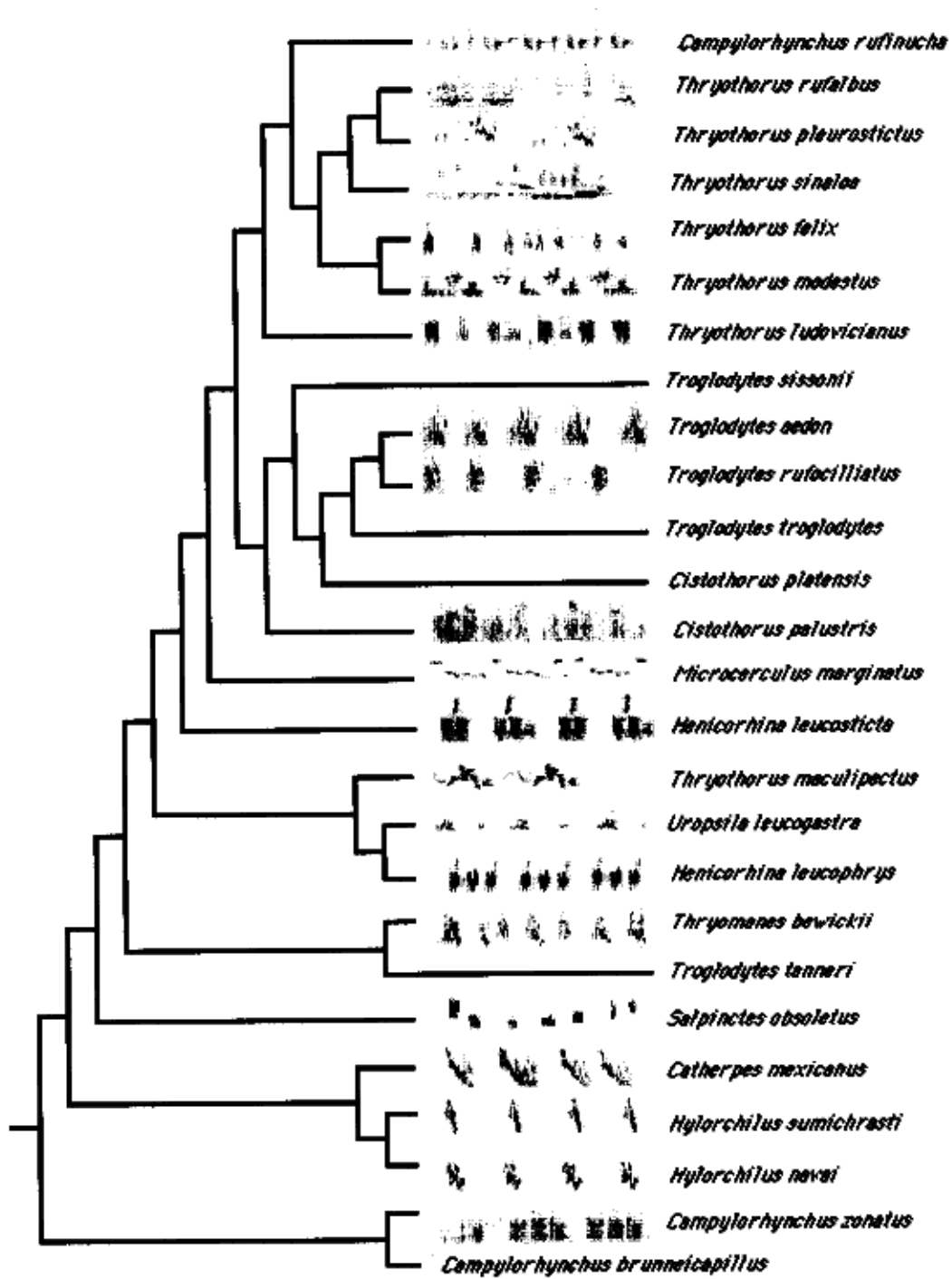


Figura 3. Hipótesis filogenética de las relaciones entre varios grupos de troglodítidos que sugiere monofilia de los grupos de *Hylorchilus*, *Catherpes* y *Salpinctes*.

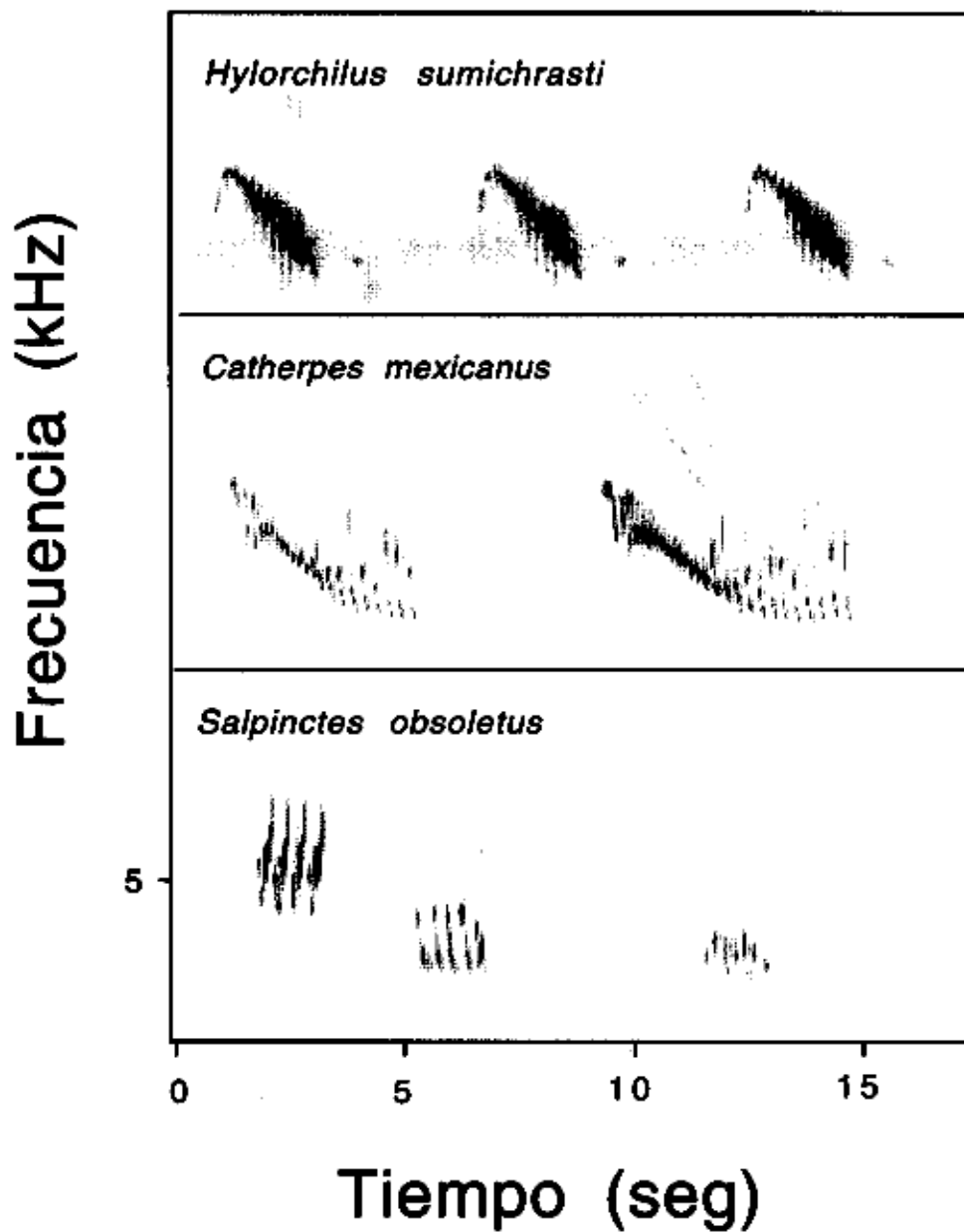


Figura 4. Los cantos de *C. mexicanus* y uno de los cantos de *Hylorchilus sumichrasti* consisten en una serie descendiente de notas aceleradas igualmente inflexionadas, que se desaceleran al final. En cambio, el canto de *S. obsoletus* es muy diferente. En este trabajo concluimos que las similitudes en las características vocales de *Hylorchilus* y *Catherpes* son el resultado de ancestría común (homologías verdaderas).

Variación de dialectos entre formas del oriente y occidente mexicanos

Hemos obtenido grabaciones de formas geográficas del oriente y occidente de México para 10 de los 23 taxa de acuerdo a lo establecido en el convenio (*Ortalis*, *Aratinga*, *Amazona*, *Trogon*, *Melanerpes*, *Cyanocorax*, *Uropsila*, *Thryothorus*, *Saltator*, y *Cyanocompsa*). Aunque no tenemos vocalizaciones para realizar todas las comparaciones, con las vocalizaciones obtenidas seremos capaces de probar la idea de que grupos hermanos con una distribución alopátrica (distribución disyunta) han divergido acústicamente y esta divergencia no necesariamente se ha reflejado en su morfología. Por ejemplo, aunque las formas geográficas de oriente y occidente de *Uropsila leucogastra* (Fig. 5), *Trogon citreolus* y *T. violaceus* (Fig. 6), y *Ortalis poliocephala* y *O. vetula* (Fig. 7) no son fácilmente distinguibles en morfología, sin embargo, las formas de *U. leucogastra* y *Trogon* spp. han divergido acústicamente, pero las formas de *Ortalis* spp. se parecen acústicamente. La divergencia acústica entre varios taxa con representantes en el oriente y occidente de México podría ser un argumento para separar estas formas como especies distintas, es decir, que la selección puede estar actuando a este nivel y que no han estado lo suficientemente separadas para que observemos una divergencia morfológica.

Aunque no hemos colectado cantos para el total de los taxa sugeridos en nuestro convenio, el objetivo se ha cumplido satisfactoriamente considerando los resultados preliminares expresados en el párrafo anterior. Esta afirmación está basada en que con los datos obtenidos a la fecha pensamos (1) escribir un artículo en donde describamos el patrón y evaluemos el efecto que ha tenido la separación espacial en las vocalizaciones de taxa hermanos, (2) iniciar una línea de investigación al respecto en el laboratorio.

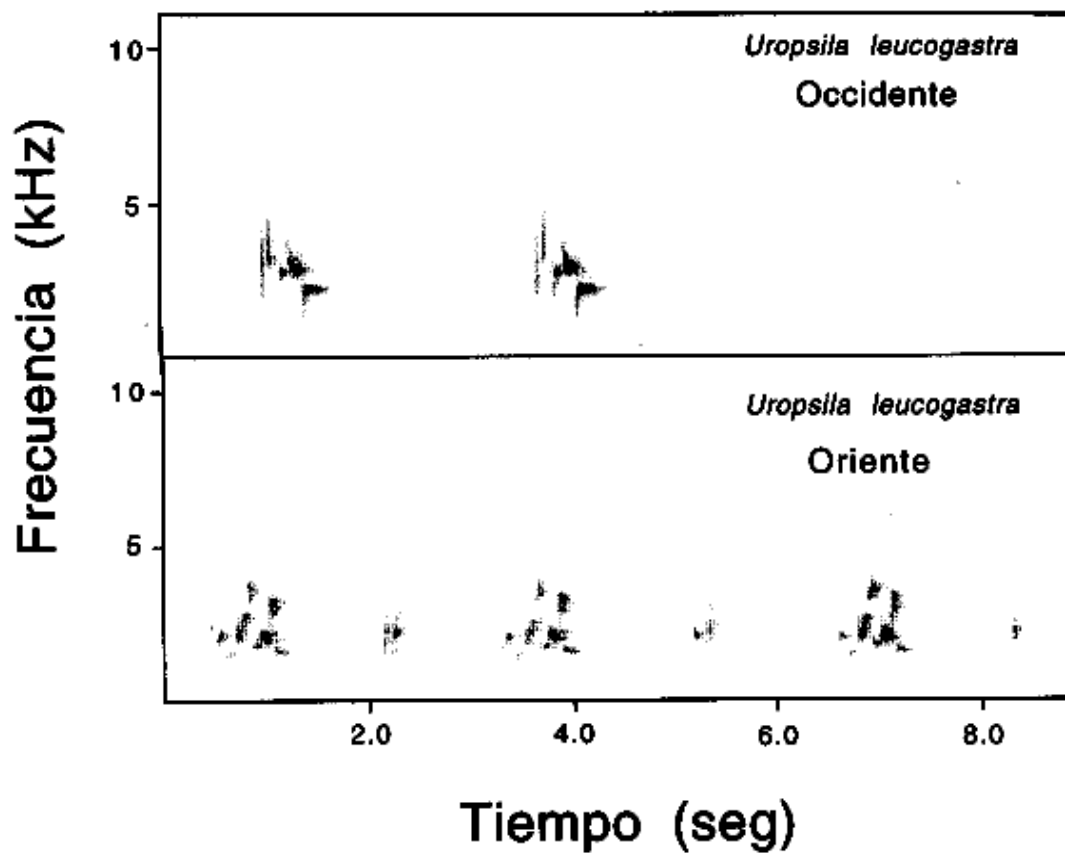


Figura 5. Cantos de *Uropsila leucogastra* de poblaciones disyuntas. A pesar de que morfológicamente estas poblaciones son casi indistinguibles, nótese que la estructura de sus cantos es distinta.

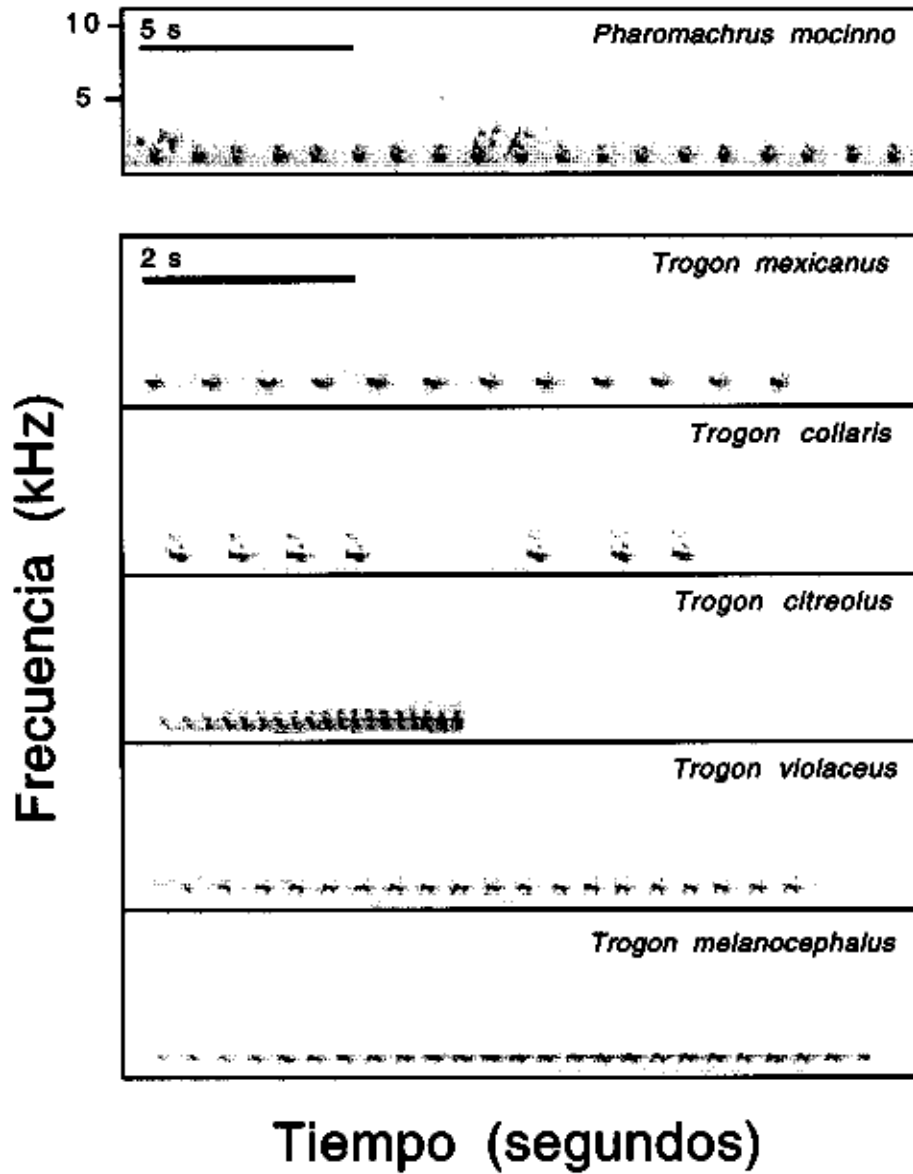


Figura 6. Los trogones amarillos de oriente (*Trogon violaceus*) y occidente (*T. citreolus*) son considerados como especies distintas ya que difieren en la coloración del iris y la iridiscencia. Aunado a esta diferenciación, sus vocalizaciones difieren marcadamente, no solo entre estas formas sino entre varias especies de trogones y quetzales, en donde la diferencia fundamental entre sus vocalizaciones es el número de notas emitidas por segundo y la duración entre los intervalos de silencios.

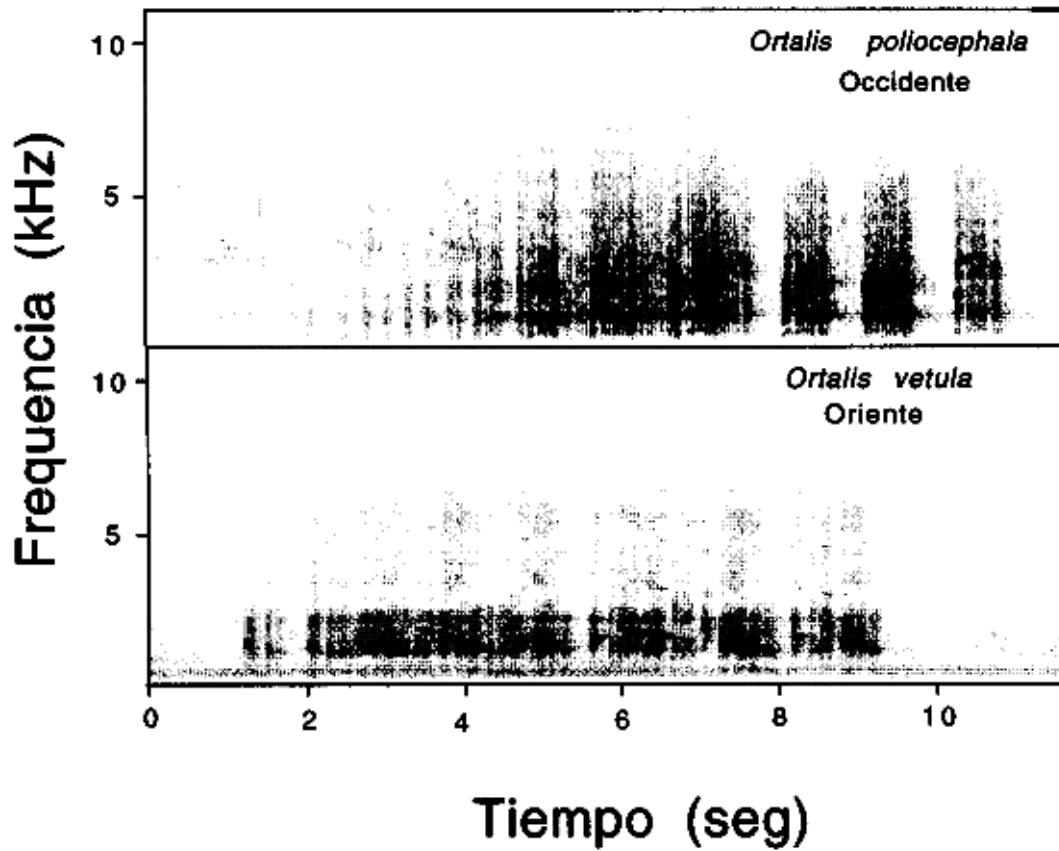


Figura 7. Aunque existen pequeñas diferencias morfológicas entre *Ortalis poliocephala* de occidente y *Ortalis vetula* de oriente (coloración del vientre y cabeza), sus vocalizaciones son muy parecidas ya que tienen la misma estructura aunque difieran en el rango de frecuencia (mayor en *O. poliocephala*).

Complejidad vocal en colibríes y uso de vocalizaciones en reconstrucción filogenética

Este objetivo se ha cumplido en un 100%. En el plan de trabajo de nuestro convenio expresamos que este componente sería de tipo exploratorio, el proyecto doctoral de Paolo Ramoni Perazzi (ver sección de Formación de Recursos Humanos) y el apoyo de CONACyT al proyecto "*Diversificación de colibríes del género Amazilia: reconstrucción filogenética usando datos morfológicos, moleculares y acústicos*" son una prueba de que estamos explorando la utilidad de las vocalizaciones como fuente de nuevos caracteres para reconstrucción filogenética. Para ello estamos trabajando principalmente con el género de *Amazilia*, el trabajo de reconstrucción requiere la incorporación de taxa hermanos y otros como grupos externos, por lo que tendremos idea de la variación en cantos en este grupo de aves.

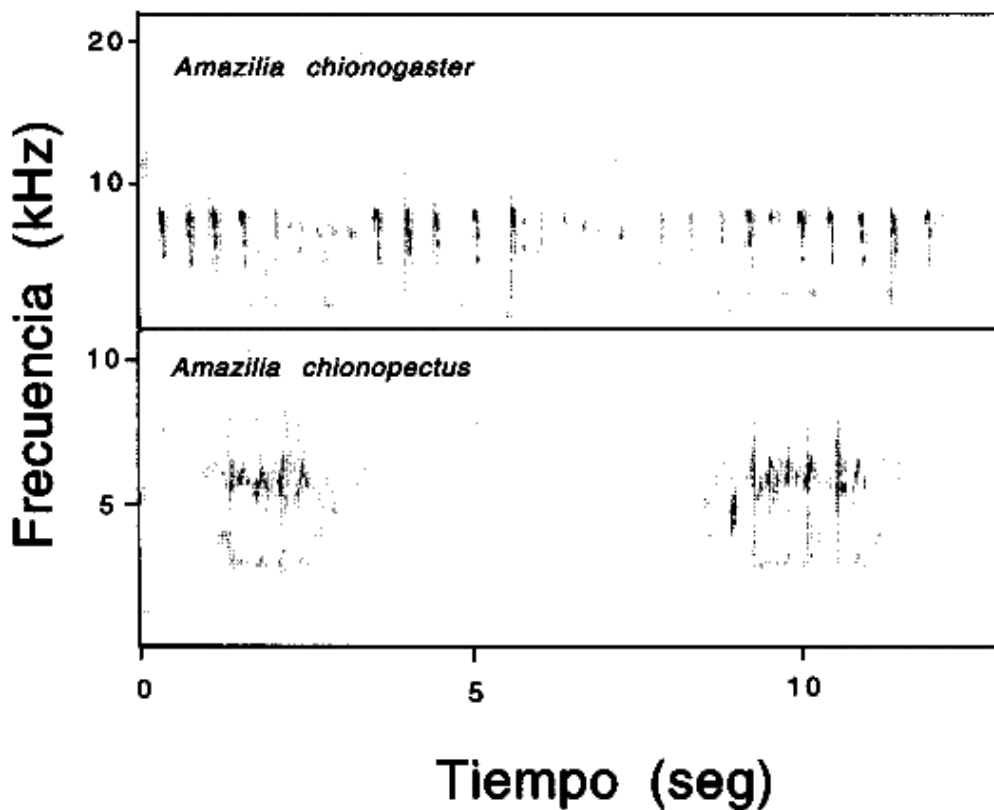


Figura 8. Diagrama que ilustra la variación en la estructura del canto de dos especies de *Amazilia*.

Formación de recursos humanos

(a) Entrenamiento de estudiantes y técnicos

Paola Sabina Contreras participó en nuestro proyecto fundamentalmente para realizar su servicio social y como técnico asociada al proyecto. Su labor fundamental floté administrativa, sin embargo, recibió entrenamiento en técnicas de grabación, edición y análisis de sonidos en el laboratorio. Al concluir su tesis de licenciatura abandonó nuestro laboratorio para colaborar en la Reserva de El Edén, para luego iniciar sus estudios de doctorado en Riverside, California.

Jorge Uribe participó activamente en el proyecto, sobretodo en la concepción de la base de datos y el proceso de informar a la CONABIO via electrónica sobre nuestros avances. Jorge recibió entrenamiento en bases de datos en el IdeE que impartiera la CONABIO y aprendió a usar los programas de software que utilizamos en el laboratorio. Participó en la grabación de sonidos y catalogación de los mismos en la fase inicial del proyecto. Desafortunadamente para el laboratorio abandonó el proyecto para iniciar sus estudios de doctorado en el extranjero (St. Louis, Missouri). Sin embargo, su formación en el laboratorio será fundamental en el planteamiento de su tesis doctoral.

Paolo Ramoni Perazzi se incorporó al proyecto hace dos años aproximadamente y como estudiante de doctorado a nuestro Posgrado en Sistemática. Paolo está estudiando vocalizaciones de colibríes del género *Amazilia* como proyecto de tesis doctoral, para luego mapear ciertos rasgos acústicos sobre una hipótesis filogenética generada con datos moleculares bajo construcción. Tal estudio le permitirá entender la evolución del canto en este grupo de colibríes. Luego tratará de reconstruir la hipótesis filogenética utilizando datos acústicos para ver si con el uso de los cantos se puede recuperar la señal filogenética. Paolo está a punto de terminar la colecta de cantos, tanto en el campo como de colecciones acústicas similares a la nuestra. Su participación en el proyecto se diseñó sobretodo para darle seguimiento al segundo objetivo particular del mismo, es decir, el uso de vocalizaciones de colibríes en reconstrucción filogenética. En el II Curso de Ornitología Tropical de nuestro posgrado, Paolo desarrolló un taller de vocalizaciones con 19 estudiantes procedentes de varios países en Latinoamérica.

Clementina González se incorporó al laboratorio hace más de un año como técnico académico del mismo. La obtención de la plaza de Clementina es otro de los logros indirectos de nuestro convenio y ha sido fundamental ya que asegura el trabajo cotidiano que demanda el mantenimiento de la colección de sonidos y el laboratorio mismo. A pesar de que Clementina no

tenía experiencia en bioacústica, en muy poco tiempo ha logrado adquirir los conocimientos básicos sobre grabación, edición y análisis de sonidos. Además, Clementina participó en el II Curso de Ornitología Tropical en donde adquirió los conocimientos básicos en ornitología. En la actualidad, Clementina se encarga de mantener la colección de sonidos, alimentar la base de datos, grabar, editar, analizar y almacenar sonidos nuevos a la colección, asesorar a estudiantes e investigadores interesados en usar nuestro equipo y facilidades.

Guadalupe Méndez es estudiante de maestría en nuestro Posgrado de Sistemática y está realizando su tesis bajo mi dirección sobre vocalizaciones de monos en el complejo *Allouata palliata* y otras especies en el mismo género. El proyecto de Guadalupe intenta entender el papel de las vocalizaciones en la diversificación de este grupo de primates. La variación acústica observada entre vocalizaciones de tropas de monos que viven en simpatria indican que las vocalizaciones en este grupo de primates juega un papel importante como fuerza selectiva.

(b) Colaboración con otros proyectos de investigación

Claudia Wolf Webels es estudiante de licenciatura de la Facultad de Ciencias de la UNAM y está desarrollando su proyecto de tesis "*Reconocimiento parental en Fregata magnificens: el papel de la voz*" bajo la dirección del Dr. José Luis Osorno. El proyecto de Claudia se ha beneficiado con el entrenamiento que recibió en nuestro laboratorio en el uso de técnicas de grabación y análisis, y la asesoría y ayuda en el campo de Clementina González. Esta colaboración es la primera de nuestro laboratorio con otras instituciones y seguramente representa el inicio de una colaboración más extensa con el Dr. Osorno.

Diana Pérez Staples está trabajando en un proyecto sobre "*Producción de sonidos en moscas de la fruta del género Anastrepha*" bajo la supervisión del Dr. Martín Muja. Dicho proyecto es una de las líneas de investigación que el Dr. Muja desarrolla en nuestro instituto. Clementina González está colaborando con Diana en la grabación y el análisis de dichos sonidos en nuestro laboratorio. Esta colaboración representa el inicio del potencial del laboratorio en colaboraciones de este tipo con investigadores y estudiantes del propio instituto y de otras instituciones.

Obtención de recursos e infraestructura

(a) Laboratorio de acústica (LABIEXAL)

La construcción del Laboratorio de Bioacústica (118 m²) representa uno de los logros más importantes derivados de manera indirecta de nuestro proyecto de vocalizaciones con la

CONABIO. A raíz de la obtención del financiamiento para el proyecto H028 *Vocalizaciones de Aves Mexicanas*, logré la obtención de dicho espacio y la construcción del mismo. Las facilidades

que existen en el laboratorio hoy día distan mucho de un cubículo de 3 m² en donde iniciamos nuestro proyecto. El laboratorio consta de (a) una área de grabación y observación con aislamiento acústico en donde es posible hacer experimentación y sesiones de tutoría acústica, (b) una área de almacenamiento, edición, reproducción, análisis de sonidos, y (c) una área de usos múltiples con espacios para estudiantes, bodega, espacio para almacenar equipo de campo, 2 refrigeradores, microondas. El mobiliario del laboratorio (sillas, refrigerador, enfriadores de agua potable, archiveros, gavetas, proyector de diapositivas, etc.) se obtuvo gracias a un apoyo por parte de nuestro posgrado. El equipo de grabación, reproducción y de cómputo se ha obtenido gracias a varios apoyos obtenidos en los últimos tres años. Las facilidades de cómputo incluyen la computadora e impresora laser del proyecto de la CONABIO, una computadora nueva Apple G3 (300 MHz, 30 MB), una impresora laser nueva, un scanner HP, dos computadoras portátiles PowerBook 1400, disco duro periférico, y una computadora MacIntosh SE. El equipo de grabación y reproducción incluyen tres grabadoras (una de ellas es digital), dos micrófonos Shutgun, una reproductora de cassettes, una reproductora/grabadora de CD's, speaker, micrófono inalámbrico, GPS, binoculares, y 2 parábolas.

(b) Proyecto de CONACyT

Hace un año obtuvimos el financiamiento del CONACyT por tres años al proyecto "*Diversificación de colibríes del género Amazilia: reconstrucción filogenética usando datos morfológicos, moleculares y acústicos*". En dicho proyecto cuento con la colaboración del Dr. Alejandro Espinosa de los Monteros, a quién repatriamos al laboratorio y con apoyo para dos estudiantes de licenciatura y uno de posgrado (Leonor Jiménez y Paolo Ramoni Perazzi se han incorporado al proyecto). Con dicho apoyo y el uso de técnicas moleculares, podremos explorar la viabilidad en el uso de datos acústicos en reconstrucción filogenética. Esta línea de investigación la pudimos iniciar con el proyecto H028 y es el seguimiento a nuestro segundo objetivo particular en el proyecto. Las publicaciones que se generen de este proyecto otorgarán los créditos correspondientes a la CONABIO.

Base de datos, sonidos, sonogramas

(a) Contenido de la base de datos

En la actualidad la base de datos consta de 10 entidades y 153 campos con el siguiente número de registros:

| Nombre de la tabla | Número de registros | Número de campos |
|--------------------|---------------------|------------------|
| BIBLIO | 255 | 16 |
| CURATO | 283 | 19 |
| GEOGRA | 30 | 20 |
| INSTIT | 1 | 23 |
| PERSON | 3 | 8 |
| RESTRICT | 1 | 4 |
| TAXONO | 283 | 16 |
| COMPLE | 283 | 17 |
| DATBAS | 283 | 13 |
| DATTEC | 283 | 17 |

(b) Especies grabadas

En total se grabaron 283 especies de aves correspondientes a 53 familias y 18 órdenes. La base representa el 56.6% de lo prometido a la CONABIO.

| ORDEN | FAMILIA | GENERO | ESPECIE |
|----------------|------------------|---------------------|---------------------|
| Tinamiformes | Tinamidae | <i>Crypterellus</i> | <i>soui</i> |
| | | <i>Crypturellis</i> | <i>boucardi</i> |
| Pelecaniformes | Phaethontidae | <i>Sula</i> | <i>aethereus</i> |
| | | <i>Sula</i> | <i>nebouxii</i> |
| | Sulidae | <i>Sula</i> | <i>leucogaster</i> |
| | | <i>Sula</i> | <i>sula</i> |
| | Fregatidae | <i>Fregata</i> | <i>magnificens</i> |
| Ciconiformes | Ardeidae | <i>Ardea</i> | <i>alba</i> |
| | | <i>Egretta</i> | <i>thula</i> |
| | | <i>Egretta</i> | <i>caerulea</i> |
| | | <i>Egretta</i> | <i>tricolor</i> |
| | | <i>Bubulcus</i> | <i>ibis</i> |
| | | <i>Butorides</i> | <i>striatus</i> |
| | | <i>Nycticorax</i> | <i>nycticorax</i> |
| | | <i>Cochlearius</i> | <i>cochlearius</i> |
| | Treskiornithidae | <i>Eudocimus</i> | <i>albus</i> |
| Anseriformes | Anatidae | <i>Dendrocygna</i> | <i>autumnalis</i> |
| Falconiformes | Accipitridae | <i>Buteogallus</i> | <i>anthracinus</i> |
| | | <i>Buteo</i> | <i>magnirostris</i> |

| | | | |
|------------------|------------------|----------------------|---------------------------|
| | Falconidae | <i>Micrastur</i> | <i>ruficollis</i> |
| | | <i>Micrastur</i> | <i>semitorquatus</i> |
| | | <i>Herpetotheres</i> | <i>cachinnans</i> |
| Galliformes | Cracidae | <i>Ortalis</i> | <i>vetula</i> |
| | | <i>Ortalis</i> | <i>poliocephala</i> |
| | | <i>Penelopina</i> | <i>nigra</i> |
| | | <i>Oreophasis</i> | <i>derbianus</i> |
| Gruiformes | Rallidae | <i>Aramide</i> | <i>caiana</i> |
| Charadriiformes | Recurvirostridae | <i>Himantopus</i> | <i>mexicanos</i> |
| | Jacaniae | <i>Jacana</i> | <i>spinosa</i> |
| | Scolopacidae | <i>Numenius</i> | <i>phaeopus</i> |
| | Laridae | <i>Larus</i> | <i>atricilla</i> |
| | | <i>Larus</i> | <i>heermani</i> |
| | | <i>Sterna</i> | <i>maxima</i> |
| Columbiformes | Columbidae | <i>Columba</i> | <i>flavirostris</i> |
| | | <i>Columba</i> | <i>fasciata</i> |
| | | <i>Zenaida</i> | <i>asiatica</i> |
| | | <i>Zenaida</i> | <i>macroura</i> |
| | | <i>Columbina</i> | <i>inca</i> |
| | | <i>Columbina</i> | <i>passerina</i> |
| | | <i>Leptotila</i> | <i>verreauxi</i> |
| | | <i>Leptotila</i> | <i>rufaxilla</i> |
| | | <i>Geotrygon</i> | <i>albifacies</i> |
| Psittaciformes | Psittacidae | <i>Aratinga</i> | <i>holochlora</i> |
| | | <i>Aratinga</i> | <i>astec</i> |
| | | <i>Aratinga</i> | <i>brevipes</i> |
| | | <i>Aratinga</i> | <i>canicularis clarae</i> |
| | | <i>Aratinga</i> | <i>caniculais</i> |
| | | | <i>eburnirostrum</i> |
| | | <i>Ara</i> | <i>militaris</i> |
| | | <i>Rhynchopsitta</i> | <i>packrhynga</i> |
| | | <i>Rhynchopsitta</i> | <i>terrisi</i> |
| | | <i>Bolborhynchus</i> | <i>lineola</i> |
| | | <i>Brotogeris</i> | <i>iugularis</i> |
| | | <i>Pionus</i> | <i>seniles</i> |
| | | <i>Amazona</i> | <i>viridigenalis</i> |
| | | <i>Amazona</i> | <i>finschi</i> |
| | | <i>Amazona</i> | <i>autumnalis</i> |
| | | <i>Amazona</i> | <i>oratrix</i> |
| Cuculiformes | Cuculidae | <i>Piaya</i> | <i>cayana</i> |
| | | <i>Crotophaga</i> | <i>sulcirostris</i> |
| Stringiformes | Stringidae | <i>Otus</i> | <i>trichopsis</i> |
| | | <i>Otus</i> | <i>guatemalae</i> |
| | | <i>Lophotrix</i> | <i>cristata</i> |
| | | <i>Glaucidium</i> | <i>brasilianum</i> |
| | | <i>Ciccaba</i> | <i>virgata</i> |
| | | <i>Strix</i> | <i>fulvescens</i> |
| Caprimulgiformes | Caprimulgidae | <i>Caprimulgus</i> | <i>ridgwaxi</i> |
| | | <i>Caprimulgus</i> | <i>vociferus</i> |
| Apodiformes | Apodidae | <i>Chaetura</i> | <i>vauxi</i> |
| | Trochilidae | <i>Phaetornis</i> | <i>supercilius</i> |
| | | <i>Campylopterus</i> | <i>curvipenis</i> |
| | | <i>Campylopterus</i> | <i>hemileucurus</i> |
| | | <i>Colibri</i> | <i>thalassinus</i> |
| | | <i>Abeillia</i> | <i>abeillei</i> |
| | | <i>Chlorostilbon</i> | <i>canivetii</i> |

| | | | |
|---------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | <i>Cynanthus</i> | <i>sordidus</i> |
| | | <i>Thalurania</i> | <i>colombica</i> |
| | | <i>Hvlocharis</i> | <i>leucotis</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>candida</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>cvanocephala</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>beryllina</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>tzacatl</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>yucatanensis</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>rutila</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>violices</i> |
| | | <i>Amazilia</i> | <i>viridironis</i> |
| | | <i>Lampornis</i> | <i>viradapallens</i> |
| | | <i>Lampornis</i> | <i>amethystinus</i> |
| | | <i>Eugenes</i> | <i>fulgens</i> |
| | | <i>Doricha</i> | <i>eliza</i> |
| | | <i>Atthis</i> | <i>heloisa</i> |
| | | <i>Atthis</i> | <i>elliotti</i> |
| Trogoniformes | Trogonidae | <i>Trogon</i> | <i>melanocephalus</i> |
| | | <i>Trogon</i> | <i>citrolus</i> |
| | | <i>Trogon</i> | <i>violaceus</i> |
| | | <i>Trogon</i> | <i>mexicanus</i> |
| | | <i>Trogon</i> | <i>collaris</i> |
| | | <i>Pharomachrus</i> | <i>mocino</i> |
| Coraciiformes | Momotidae | <i>Aspatha</i> | <i>gularis</i> |
| | | <i>Momotus</i> | <i>momota</i> |
| | Alcenidae | <i>Chloroceryle</i> | <i>americana</i> |
| Piciformes | Galbulidae | <i>Galbula</i> | <i>ruficauda</i> |
| | Ramphastidae | <i>Aulacorhynchus</i> | <i>prasinus</i> |
| | | <i>Pteroglossus</i> | <i>torquatus</i> |
| | | <i>Ramphastos</i> | <i>sulfuratus</i> |
| | Picidae | <i>Melanerpes</i> | <i>formicivorus</i> |
| | | <i>Melanerpes</i> | <i>chrysogenys</i> |
| | | <i>Melanerpes</i> | <i>aurifrons</i> |
| | | <i>Picoides</i> | <i>scalaris</i> |
| | | <i>Picoides</i> | <i>villosus</i> |
| | | <i>Veniliornis</i> | <i>fumigatus</i> |
| | | <i>Piculus</i> | <i>rubiginosus</i> |
| | | <i>Celeus</i> | <i>castaneus</i> |
| | | <i>Dryocopus</i> | <i>lineatus</i> |
| | | <i>Campephilus</i> | <i>guatemalensis</i> |
| Passeriformes | Furnaridae | | <i>erythrothorax</i> |
| | | <i>Anabacertia</i> | <i>variegaticeps</i> |
| | | <i>Autumolus</i> | <i>rubiginosus</i> |
| | | <i>Sclerurus</i> | <i>mexicanus</i> |
| | Dendrocolaptidae | <i>Sittasomus</i> | <i>griseicapillus</i> |
| | | <i>Xiphorhynchus</i> | <i>flavigaster</i> |
| | | <i>Lepidocolaptes</i> | <i>affinis</i> |
| | Thamnophilidae | <i>Thamnophalus</i> | <i>doliatus</i> |
| | | <i>Cercomacra</i> | <i>tyrannina</i> |
| | Formicariidae | <i>Formicarius</i> | <i>analisis</i> |
| | Tyrannidae | <i>Campostoma</i> | <i>imberbe</i> |
| | | <i>Zimerius</i> | <i>villisimus</i> |
| | | <i>Oncostoma</i> | <i>cinereigulare</i> |
| | | <i>Tolmomyias</i> | <i>sulphurescens</i> |
| | | <i>Mitrephanes</i> | <i>phaeocercus</i> |
| | | <i>Contopus</i> | <i>virens</i> |

| | | | |
|--|---------------|------------------------|----------------------|
| | | <i>Empidonax</i> | <i>albigularis</i> |
| | | <i>Empidonax</i> | <i>minimus</i> |
| | | <i>Empidonax</i> | <i>difficilis</i> |
| | | <i>Empidonax</i> | <i>occidentalis</i> |
| | | <i>Empidonax</i> | <i>flavescens</i> |
| | | <i>Attila</i> | <i>spadiceus</i> |
| | | <i>Myiarchus</i> | <i>tuberculifer</i> |
| | | <i>Myiarchus</i> | <i>tyrannulus</i> |
| | | <i>Pitangus</i> | <i>sulphuratus</i> |
| | | <i>Megarynchus</i> | <i>pitangua</i> |
| | | <i>Miozetetes</i> | <i>similis</i> |
| | | <i>Mviodynastes</i> | <i>luteiventris</i> |
| | | <i>Legatus</i> | <i>leucophaeus</i> |
| | | <i>Tyrannus</i> | <i>melancholicus</i> |
| | | <i>Tyrannus</i> | <i>couchii</i> |
| | Cotingidae | <i>Schiffornis</i> | <i>turdinus</i> |
| | | <i>Pachyramphus</i> | <i>aglaiae</i> |
| | | <i>Tityra</i> | <i>semifasciata</i> |
| | Pipridae | <i>Chiroxiphia</i> | <i>linearis</i> |
| | | <i>Pipra</i> | <i>mentalis</i> |
| | Vireonidae | <i>Vireo</i> | <i>griseus</i> |
| | | <i>Vireo</i> | <i>plumbeus</i> |
| | | <i>Vireo</i> | <i>solitarius</i> |
| | | <i>Vireo</i> | <i>hypochryseus</i> |
| | | <i>Vireo</i> | <i>gilvus</i> |
| | | <i>Vireo</i> | <i>leucophrus</i> |
| | | <i>Vireo</i> | <i>olivaceus</i> |
| | | <i>Vireo</i> | <i>flavoviridis</i> |
| | | <i>Hylophilus</i> | <i>decurtatus</i> |
| | | <i>Vireolanius</i> | <i>melitophrus</i> |
| | | <i>Cyclarhis</i> | <i>gujanensis</i> |
| | Corvidae | <i>Calocitta</i> | <i>formosa</i> |
| | | <i>Cyanocorax</i> | <i>yncas</i> |
| | | <i>Cyanocorax</i> | <i>morio</i> |
| | | <i>Cyanocorax</i> | <i>sanblasianus</i> |
| | | <i>Cyalolyca</i> | <i>pumilo</i> |
| | | <i>Aphelocoma</i> | <i>unicolor</i> |
| | Hirundinidae | <i>Stelvydopteryx</i> | <i>serripennis</i> |
| | Paridae | <i>Parus</i> | <i>bicolor</i> |
| | Troglodytidae | <i>Campylorhynchus</i> | <i>zonatus</i> |
| | | <i>Campylorhynchus</i> | <i>rufinucha</i> |
| | | <i>Thryothorus</i> | <i>maculipectus</i> |
| | | <i>Thryothorus</i> | <i>rufalbus</i> |
| | | <i>Thryothorus</i> | <i>sinaloa</i> |
| | | <i>Thryothorus</i> | <i>pleurostictus</i> |
| | | <i>Thryothorus</i> | <i>felix</i> |
| | | <i>Thryothorus</i> | <i>modestus</i> |
| | | <i>Troglodytes</i> | <i>aedon</i> |
| | | <i>Troglodytes</i> | <i>fufociliatus</i> |
| | | <i>Uropsila</i> | <i>leucogastra</i> |
| | | <i>Henicorhina</i> | <i>leucosticta</i> |
| | | <i>Henicorhina</i> | <i>leucophrus</i> |
| | | <i>Microcerculus</i> | <i>marinatus</i> |
| | Sylviidae | <i>Ramphocaenus</i> | <i>melanurus</i> |
| | | <i>Polioptila</i> | <i>caerulea</i> |
| | | <i>Polioptila</i> | <i>nigriceps</i> |

| | | | |
|--|---------------|----------------------|-------------------------|
| | | <i>Polioptila</i> | <i>albiloris</i> |
| | Turdidae | <i>Myadestes</i> | <i>occidentalis</i> |
| | | <i>Myadestes</i> | <i>unicolor</i> |
| | | <i>Myadestes</i> | <i>obscurus</i> |
| | | <i>Catharus</i> | <i>aurantiirrostris</i> |
| | | <i>Catharus</i> | <i>frantzi</i> |
| | | <i>Catharus</i> | <i>dryas</i> |
| | | <i>Catharus</i> | <i>ustulatus</i> |
| | | <i>Turdus</i> | <i>infiscatus</i> |
| | | <i>Turdus</i> | <i>plebeius</i> |
| | | <i>Turdus</i> | <i>gravi</i> |
| | Mimidae | <i>Dumetella</i> | <i>carolinensis</i> |
| | | <i>Mimus</i> | <i>polyglottos</i> |
| | | <i>Toxostoma</i> | <i>ongirostre</i> |
| | | <i>Toxostoma</i> | <i>curvirostre</i> |
| | | <i>Melanotis</i> | <i>caerulescens</i> |
| | | <i>Melanotis</i> | <i>hypoleucus</i> |
| | Bombycillidae | <i>Bombycilla</i> | <i>cedrorum</i> |
| | Ptilonotidae | <i>Ptilonotus</i> | <i>cinereus</i> |
| | Parulidae | <i>Vermivora</i> | <i>celata</i> |
| | | <i>Parula</i> | <i>superciliosa</i> |
| | | <i>Parula</i> | <i>americana</i> |
| | | <i>Parula</i> | <i>pitiavumi</i> |
| | | <i>Dendroica</i> | <i>petequia</i> |
| | | <i>Dendroica</i> | <i>magnolia</i> |
| | | <i>Dendroica</i> | <i>virens</i> |
| | | <i>Dendroica</i> | <i>dominica</i> |
| | | <i>Mniotilta</i> | <i>varia</i> |
| | | <i>Seiurus</i> | <i>noveboracensis</i> |
| | | <i>Oporornis</i> | <i>tolmiei</i> |
| | | <i>Geothlypis</i> | <i>trichas</i> |
| | | <i>Geothlypis</i> | <i>nelsoni</i> |
| | | <i>Geothlypis</i> | <i>poliocephala</i> |
| | | <i>Wilsonia</i> | <i>citrina</i> |
| | | <i>Wilsonia</i> | <i>pusilla</i> |
| | | <i>Mnioborus</i> | <i>miniatus</i> |
| | | <i>Basileuterus</i> | <i>culicivorus</i> |
| | | <i>Basileuterus</i> | <i>rufifrons</i> |
| | | <i>Basileuterus</i> | <i>belli</i> |
| | | <i>Granatellus</i> | <i>venustus</i> |
| | Coerebidae | <i>Coereba</i> | <i>flaveola</i> |
| | Thraupidae | <i>Chlorospingus</i> | <i>ophthalmicus</i> |
| | | <i>Rhodinocichla</i> | <i>rosea</i> |
| | | <i>Habia</i> | <i>rubica</i> |
| | | <i>Habia</i> | <i>fuscicauda</i> |
| | | <i>Piranga</i> | <i>rubra</i> |
| | | <i>Piranga</i> | <i>bidentata</i> |
| | | <i>Piranga</i> | <i>leucoptera</i> |
| | | <i>Ramphocelus</i> | <i>sanguinolentus</i> |
| | | <i>Ramphocelus</i> | <i>passeriini</i> |
| | | <i>Thraupis</i> | <i>abbas</i> |
| | | <i>Euphonia</i> | <i>hirundinacea</i> |
| | | <i>Euphonia</i> | <i>elegantissima</i> |
| | | <i>Euphonia</i> | <i>gouldi</i> |
| | | <i>Chlorophonia</i> | <i>occipitalis</i> |
| | | <i>Tangara</i> | <i>cabanissi</i> |

| | | | |
|--|--------------|-----------------------|--------------------------|
| | | <i>Tangara</i> | <i>larvata</i> |
| | | <i>Cyanerpes</i> | <i>cyaneus</i> |
| | Emberizidae | <i>Volatinia</i> | <i>iacarina</i> |
| | | <i>Sorophila</i> | <i>torqueola</i> |
| | | <i>Sorophila</i> | <i>aurita</i> |
| | | <i>Tiaris</i> | <i>olivacea</i> |
| | | <i>Diglossa</i> | <i>baritula</i> |
| | | <i>Atlapetes</i> | <i>brunneinucha</i> |
| | | <i>Arremon</i> | <i>aurantiistrostris</i> |
| | | <i>Arremonops</i> | <i>chloronotus</i> |
| | | <i>Aimophila</i> | <i>ruficauda</i> |
| | | <i>Aimophila</i> | <i>rufescens</i> |
| | | <i>Oriturus</i> | <i>superciliosus</i> |
| | Cardinalidae | <i>Saltator</i> | <i>coerulescens</i> |
| | | <i>Saltator</i> | <i>maximus</i> |
| | | <i>Saltator</i> | <i>atriceps</i> |
| | | <i>Carvothraustes</i> | <i>poliogaster</i> |
| | | <i>Cardinalis</i> | <i>cardinalis</i> |
| | | <i>Pheucticus</i> | <i>chrysopheplus</i> |
| | | <i>Cyanocompsa</i> | <i>cyanooides</i> |
| | | <i>Cyanocompsa</i> | <i>parellina</i> |
| | | <i>Passerina</i> | <i>versicolor</i> |
| | | <i>Passerina</i> | <i>leclancherii</i> |
| | Icteridae | <i>Sturnella</i> | <i>magna</i> |
| | | <i>Dives</i> | <i>dives</i> |
| | | <i>Quiscalus</i> | <i>mexicanos</i> |
| | | <i>Molothrus</i> | <i>ater</i> |
| | | <i>Icterus</i> | <i>dominicensis</i> |
| | | <i>Icterus</i> | <i>wagleri</i> |
| | | <i>Icterus</i> | <i>mesomelas</i> |
| | | <i>Icterus</i> | <i>pustulatus</i> |
| | | <i>Icterus</i> | <i>gularis</i> |
| | | <i>Icterus</i> | <i>graduacauda</i> |
| | | <i>Amblycercus</i> | <i>olosericeus</i> |
| | | <i>Cacicus</i> | <i>melanicterus</i> |
| | | <i>Psarocolius</i> | <i>moctezuma</i> |
| | | <i>Psarocolius</i> | <i>wagleri</i> |
| | Fringillidae | <i>Carduelis</i> | <i>notata</i> |
| | | <i>Carduelis</i> | <i>psaltria</i> |
| | | <i>Coccothraustes</i> | <i>abeillei</i> |
| | Passeridae | <i>Passer</i> | <i>domesticus</i> |


(c) Formación de una base de datos relacionable

La base de datos que estamos entregando a la CONABIO ha sido estructurada utilizando Microsoft Excel de acuerdo a sus especificaciones. Sin embargo, en el LABIEXAL se construyó a la par una base de datos relacionable utilizando el software de FileMaker Pro a fin de hacer compatible dicha base de datos con toda nuestra infraestructura de cómputo y grabación que dependen de una plataforma MacIntosh. En dicha base de datos relacionable, estamos incorporando además de los sonidos e imágenes generados en Canary 1.2.4, información para cada ave sobre su distribución geográfica, historia natural, y variación vocal. El uso de FileMaker Pro nos permite que la inclusión de dicha información pueda estar acompañada de mapas de distribución, video e imágenes de la especie. En la Fig. 9, ilustramos las ventanas de varios de los campos en la base de datos.

Figura 9. Diagrama que ilustra la relación entre diferentes campos de la base de datos relacionable generada en FileMaker Pro, en donde se incluye la posibilidad de escuchar el sonido al que se hace referencia, y que estará creciendo conforme vayamos incluyendo imágenes, video, etc.

DATBAS

123
Records: 283
Unsorted



H_COLECTA 173
 COLECTOR Juan Francisco Ornelas
 DIR_COLECTOR Instituto de Ecología A.C.
 HUM_CIHTA MANANTLAN III
 LOC_CORTE 003-007
 FECHA 22-7-91
 CLAVE_TAX 173
 CLAVE_CUR 173
 CLAVE_OEO 18
 CLAVE_BIB 159
 CLAVE_IHS 1

Hist. Natural Distrib
 Refer Video TAXONO CURATO
 GEOGRA BIBLIO
 DATTEC INSTIT

COMPLE

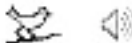
100 Browse

DATBAS

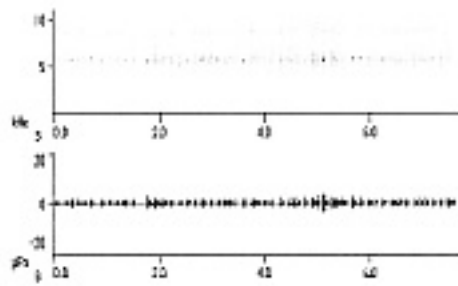
COMPLE

123
Records: 283
Unsorted

Variación Tipos de Canto



CLAVE_TAX 173
 TIPO_SON Llamado territorial
 CONTEXTO Corriendo a un intruso
 DURCAN 7.557
 DURNOT 0.077
 FEMANI ND
 FEMBIN ND
 FEMAPS 8.70
 FEMIPS 5.05
 FEMASS 9.55
 FEMISS 4.78
 TIPSSS 0.067
 FRASES 0.132
 SILNOT 1
 DURINT 0.208
 PLAYBACK No
 OTROS DETALLES ND



DATBAS

100 Browse

(d) Áreas geográficas de grabación

A continuación presentamos un cuadro comparativo con las localidades del país donde se hicieron grabaciones y el número de especies de la base de datos grabadas en cada lugar.

| LOCALIDAD | MUNICIPIO | ESTADO | No. ESPECIES |
|--|----------------------------|---------------|---------------------|
| Reserva de la Biosfera El Triunfo | Angel Albino Corzo | Chiapas | 33 |
| Reserva Ejidal de Misol-ha | Salto del Agua | Chiapas | 18 |
| Selva El Ocote | Ocozocuautila | Chiapas | 11 |
| Parque Nacional Lagos de Montebello | La Trinitaria | Chiapas | 10 |
| Zona Arqueológica de Yaxchilán | Ocosingo | Chiapas | 8 |
| Rancho La Yerbabuena | Pueblo Nuevo Solistahuán | Chiapas | 5 |
| Lagunas de la Joya Buena Vista | | Chiapas | 4 |
| Ocosingo | Ocosingo | Chiapas | 2 |
| Jitotol | Jitotol | Chiapas | 2 |
| Cerro del Calvario | Tapalapa | Chiapas | 1 |
| Reserva del Huitepec | San Cristóbal de las Casas | Chiapas | 1 |
| Ranchería El Refugio | La Trinitaria | Chiapas | 1 |
| Playa del Sol | | Chiapas | 1 |
| Reserva de la Biosfera Charnela - Cuixmala | La Huerta | Jalisco | 24 |
| Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán | Autlán de Navarro | Jalisco | 8 |
| Parque Nacional Isla Isabel | San Blas | Navarrit | 10 |
| Fundación Ara | Monterrey | Nuevo León | 11 |
| Zapotitlán de Salinas | Zapotitlán | Puebla | 5 |
| Parque Ecológico Francisco Javier Clavijero | Xalapa | Veracruz | 49 |
| Centro de Investigaciones Costeras La Mancha | Actopan | Veracruz | 37 |
| Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas | San Andrés Tuxtla | Veracruz | 32 |
| Carretera Antigua a Coatepec camino hacia Cuahutémoc | Coatepec | Veracruz | 4 |
| Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero | Xalapa | Veracruz | 2 |
| Zona Arqueológica de Quiahuixtlán | Alto Lucero | Veracruz | 1 |
| Cafetal, Orduña | Coatepec | Veracruz | 1 |
| San Antonio Paso del Toro | Jilotepec | Veracruz | 1 |
| Coatepec | Coatepec | Veracruz | 1 |

(e) Analisis de datos

En el campo complementario denominado COMPLETE se presentan los resultados de los análisis realizados para cada corte de sonido, los cuales se hicieron de la siguiente manera: primero se midió la duración total del canto en segundos y la duración promedio de las notas también en segundos, después se midió las frecuencias altas y bajas de la nota introductoria (en caso de poseerla), de la primera sílaba y de la segunda sílaba (Fig. 10). También se midió la duración en segundos de los intervalos entre la primera y segunda sílaba y el promedio de los intervalos de silencio de todo el corte, y por último se calculó el número de frases por segundo, y el número de notas por sílaba. La información generada con este tipo de mediciones será utilizada en estudios comparativos, en donde exploraremos la variación de la estructura del sonido entre distintos grupos de aves.

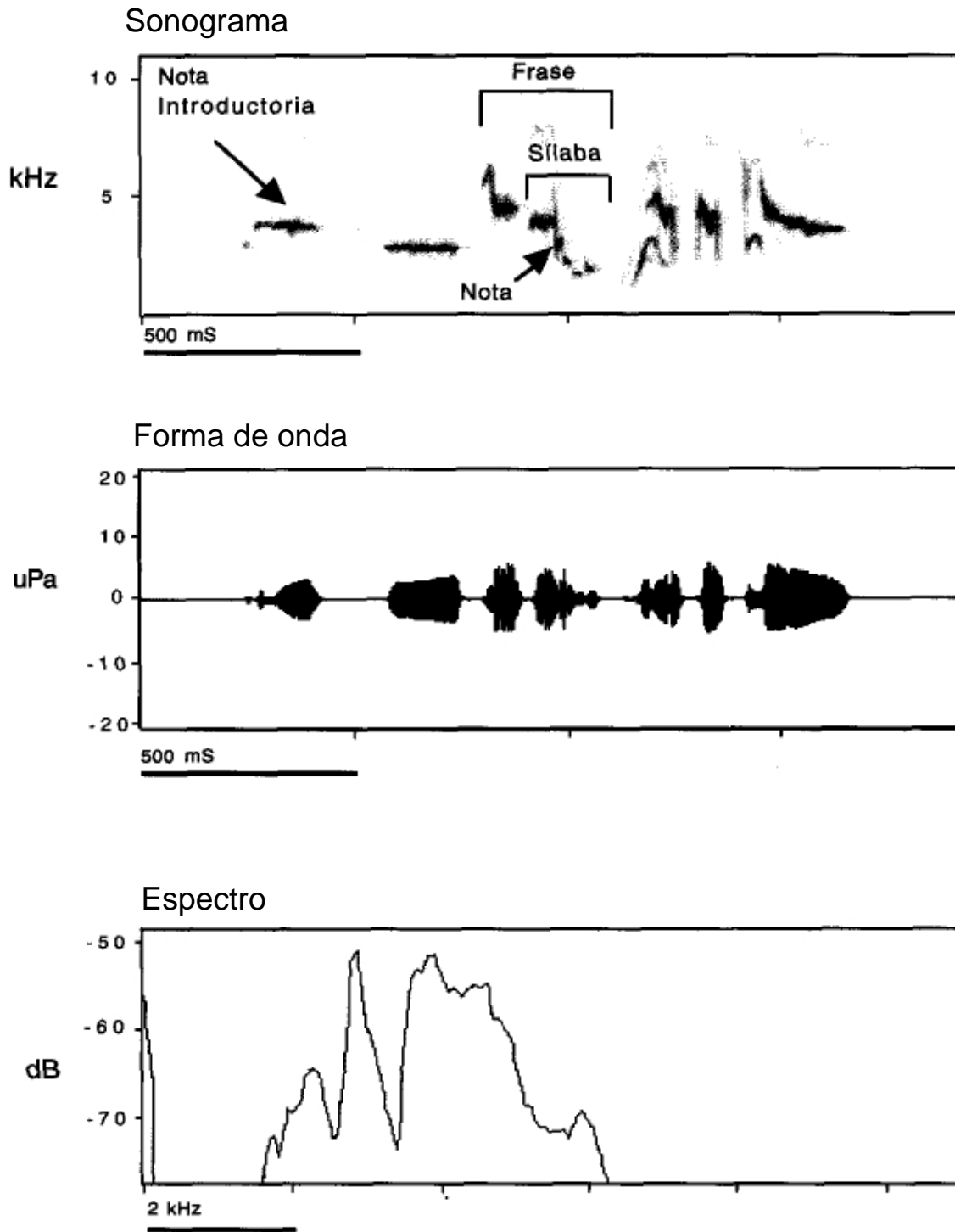


Figura 10. Diagrama que ilustra la estructura de una vocalización y el tipo de información que se puede generar a través de estos gráficos.

Obtención de caracteres taxonómicos a partir de datos acústicos

Uno de los logros de este proyecto es la evaluación sobre la posibilidad de obtención de caracteres nuevos que pueden ser utilizados en reconstrucción filogenética. Los cantos se describen tal y como se explicó en párrafos anteriores. Luego que se obtienen tales medidas, éstas son exportadas a una hoja de trabajo, misma que puede ser transferida a un programa de estadística multivariada compatible (StatView, SuperANOVA). La comparación entre distintas señales acústicas puede efectuarse directamente con el programa Canary, ya que este permite efectuar contrastes entre pares de sonidos (correlaciones cruzadas). Sin embargo, esta posibilidad tiene la restricción de solo evaluar la similitud entre señales acústicas de manera pareada. Para poder efectuar análisis entre varias señales acústicas, es necesario adoptar una aproximación estadística multivariada que permita discernir entre señales acústicas, para luego por medio de análisis de variación de cara una de las características acústicas, tener criterios de variación que permitan establecer los distintos estados de carácter. Al discretizar cada carácter, la información se vierte en MacClade para formar una matriz de datos acústicos de los taxa bajo estudio. Dicha matriz luego es leída por el programa PAUP 3.1.1, en donde las características vocales son empleadas como caracteres taxonómicos para el análisis cladístico de, en nuestro caso, *Amazilia* y grupos afines. La reconstrucción filogenética obtenida con vocalizaciones será luego contrastada con árboles generados con otros datos (morfológicos, conductuales y moleculares) a fin de determinar la utilidad de las vocalizaciones en reconstrucciones filogenéticas. Por último, a los árboles generados en PAUP 3.1.1 se les "mapeará" caracteres vocales usando el programa MacClade para determinar posibles correlaciones entre caracteres (mediremos la asociación de caracteres usando la prueba de los cambio concentrados de Maddison) y para explorar patrones de diversificación taxonómica y evolución del canto entre las *Amazilia*. En las Figs. 11, 12 y 13 mostramos aproximaciones estadísticas, sobre como se pueden determinar estados de caracteres acústicos.

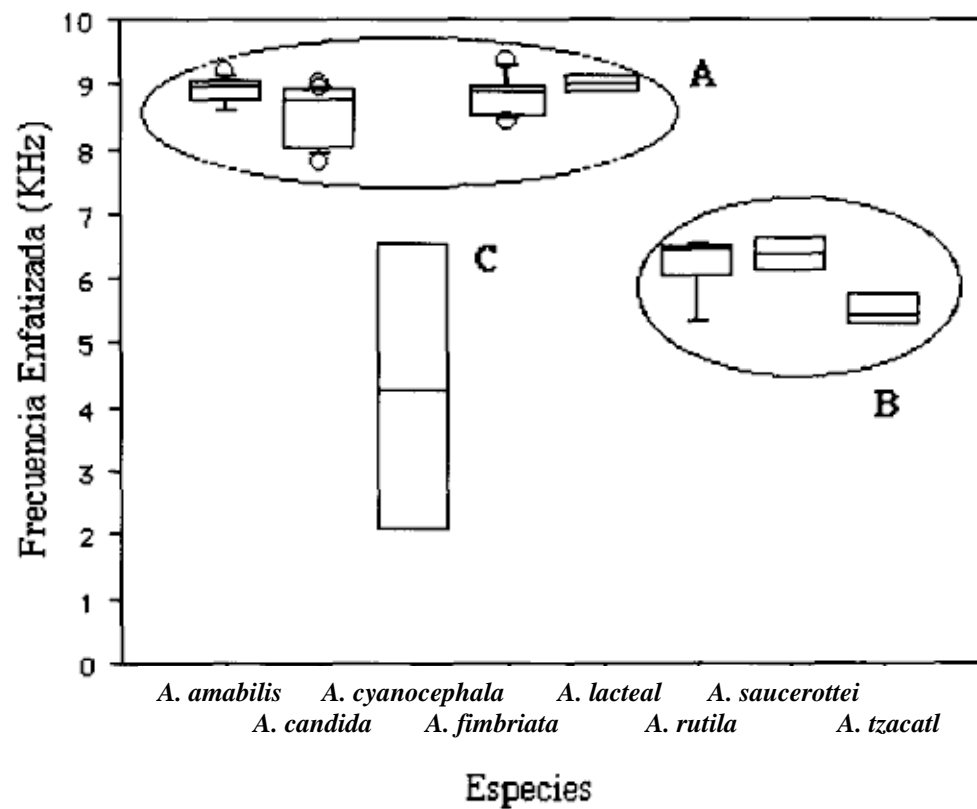


Figura 11. En este caso, el carácter es la frecuencia enfatizada (KHz) de las notas en la vocalización de forrajeo, en la cual con una gráfica de "bigotes y cajas" se pueden observar claramente tres estados de carácter. En ocasiones, este proceso no es tan directo y se debe recurrir a otros tipos de análisis, como en el caso de la Figura 20.

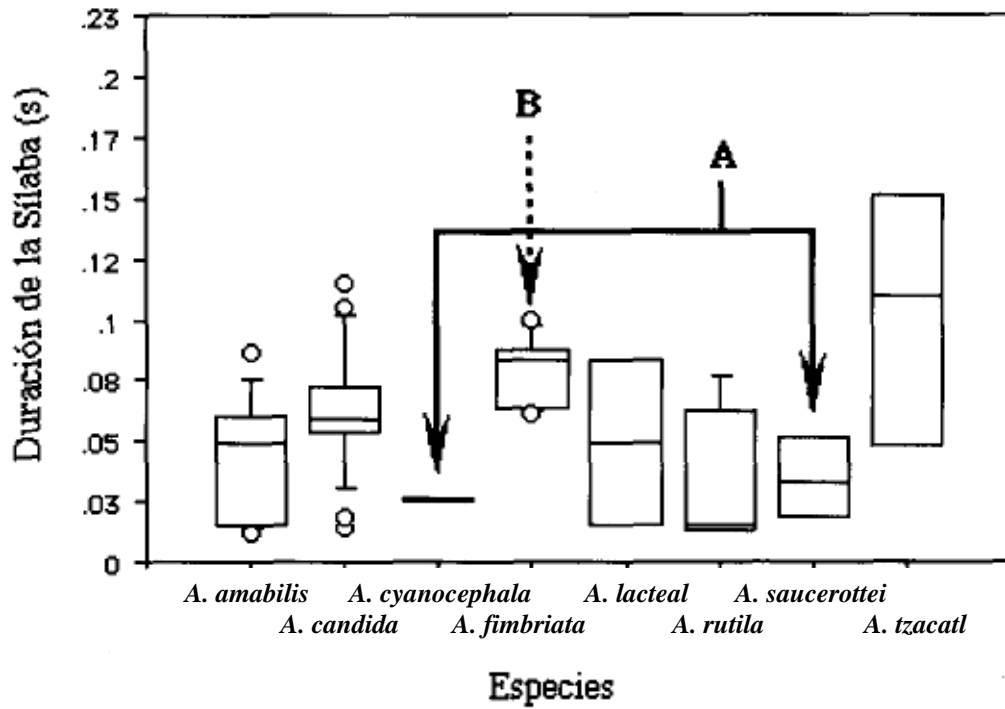


Figura 12. El carácter es la duración de la sílaba (s) de la vocalización de forrajeo. Pudiera discriminarse que *A. cyanocephala* y *A. saucerottei* forman un mismo estado de carácter, separado de *A. fimbriata*. Sin embargo, una gráfica de "bigotes y cajas" no permite discriminar en el resto de las especies, por lo que otras técnicas, como la que se muestra en la Figura 21, puede ser útil.

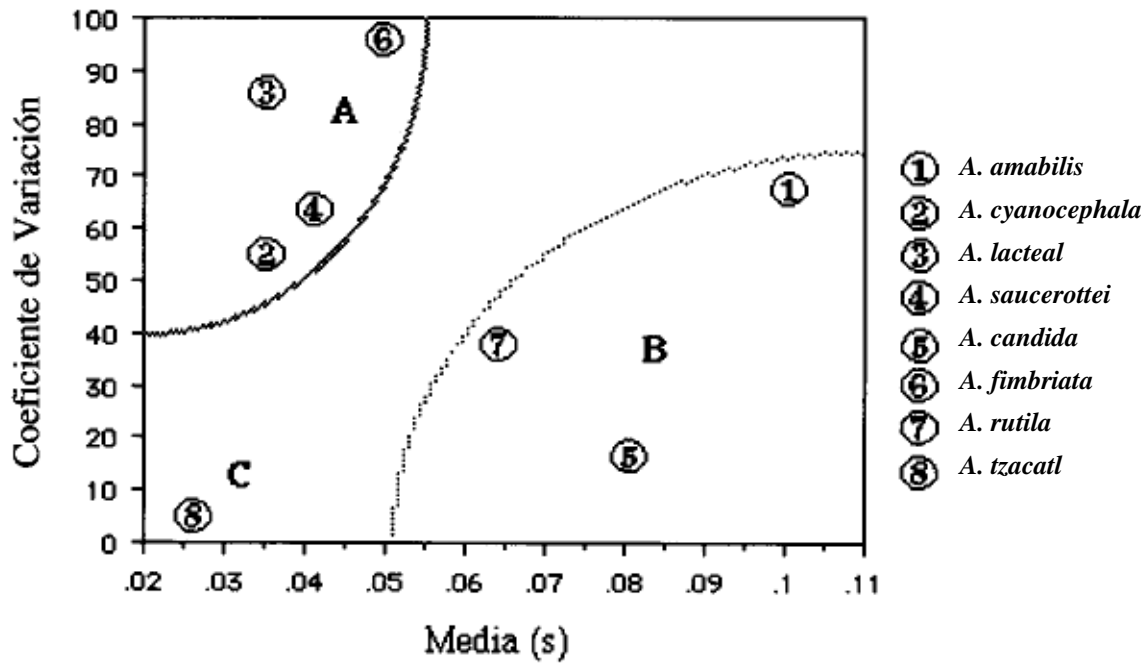


Figura 13. El carácter sigue siendo la duración de las sílabas (s) de las vocalizaciones de forrajeo. En este caso, graficar el promedio para cada especie de la variable considerada contra su respectivo coeficiente de variación permite la discriminación de, al menos, tres grupos.

Identificación de hipótesis de trabajo

La base de datos generada para este proyecto se hizo con el fin de evaluar la posibilidad de generar y evaluar hipótesis sobre la evolución de caracteres acústicos mapeando sobre filogenias construidas de manera independiente. Para el caso de la filogenia de troglodítidos, mapeamos sobre la filogenia generada con datos morfológicos y conductuales la complejidad vocal típica de géneros como *Cistothorus*, *Salpinctes*, *Troglodytes*, para ver la trayectoria de dicha característica a lo largo de la evolución de este grupo de aves. Con dicho ejercicio y asumiendo que la hipótesis filogenética utilizada es robusta, podemos hipotetizar que la complejidad vocal en troglodítidos es una característica ancestral y que dicha complejidad se ha perdido al menos cuatro veces (Figs. 14 y 15).

La transición en la evolución de la complejidad vocal de troglodítidos a la simplificación en número de notas y repertorio vocal es una hipótesis de trabajo que seguiremos evaluando, ya que es necesario demostrar el tipo de presiones selectivas y las condiciones ecológicas y evolutivas en donde dicha complejidad sea una desventaja evolutiva. Sin embargo, mostramos en este informe la utilidad de una aproximación filogenética en la identificación y evaluación de hipótesis sobre la evolución del canto en aves.

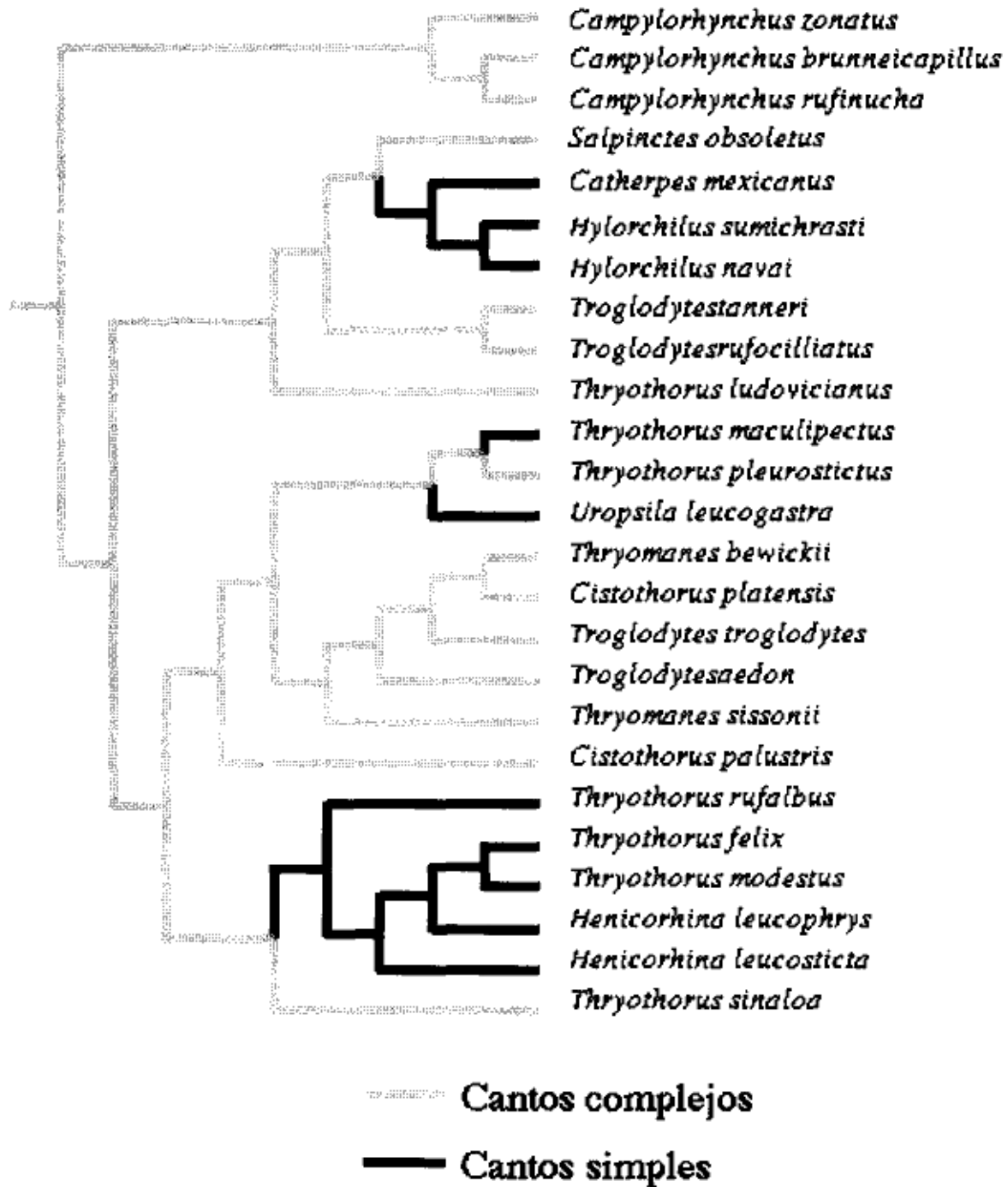


Figura 14. Mapeo de la complejidad vocal en una filogenia de Troglodytidae generada a partir de una matriz con caracteres morfológicos y conductuales.

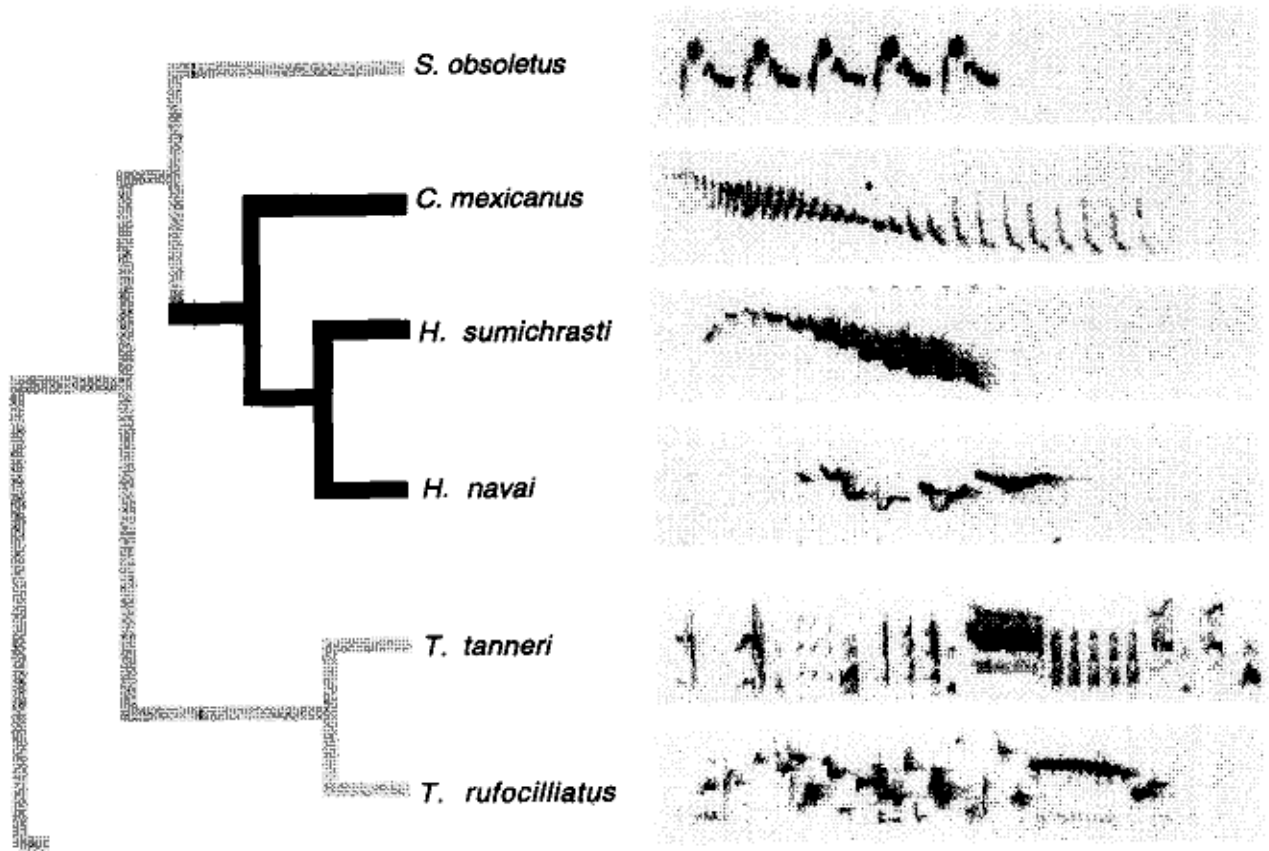


Figura 15. Note los cambios en la complejidad vocal de *Salpinctes obsoletus* y *Troglodytes* spp. con los otros taxa más derivados.

VII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Autoevaluación y futuro de la base de datos

El compromiso principal de nuestro convenio, una base de datos con cantos de 500 especies no se cumplió satisfactoriamente. Como lo expresé en uno de los informes parciales, la reducción en el presupuesto por parte de la CONABIO del solicitado originalmente, nos nos permitió viajar a varios puntos de la República para obtener grabaciones de vocalizaciones de aves. Aunque acepté tal reducción en el presupuesto, quedándome sin presupuesto para viáticos, ciertamente sobreestimé nuestra capacidad para grabar a todas las especies de aves a la que nos comprometimos. A pesar de ello, logramos con fondos alternativos (apoyos para viáticos de nuestro Departamento y de proyectos apoyados por el CONACyT) realizar varias salidas a sitios a donde esperábamos grabar un número alto de especies (Charnela, El Triunfo, Los Tuxtlas, varios sitios en Chiapas y Veracruz). Sin embargo, la obtención de una grabación no es nada trivial (e.g., no cantan todo el año, no siempre están cantando, o no se pueden observar cuando están vocalizando) y requiere de muchas horas de búsqueda y grabación. Muchas de las especies que nos faltan en la base de datos son de grupos de aves marinas o playeras (solo tenemos 22 de 250 especies marinas), grupos de aves a los que no pusimos mucha atención (solo un viaje a la Isla Isabel). Otros grupos de aves faltantes en la base de datos son de grupos de aves que no vocalizan mucho particularmente (hay 322 especies de aves que no se caracterizan por vocalizar mucho como las grullas, gansos, patos, chotacabras, rapaces, etc.).

Pienso que la base de datos que estamos entregando como parte de nuestro informe final representa una de las bases de datos con mayores posibilidades de desarrollo y se puede comparar en calidad a otras colecciones en Estados Unidos y Brasil.

Como expresé a la CONABIO en su momento, la base de datos que conformamos en tres años no solamente es un herramienta para consulta o una liga mas para otras bases de datos disponibles, sino que es el fundamento y resultado de varios proyectos de investigación en nuestro laboratorio. Por ello, la conclusión de nuestro compromiso con la CONABIO no impedirá que continuemos enriqueciendo el acervo acústico de esta colección de sonidos con nuevas grabaciones, mismas que, de interesarle a la CONABIO, podríamos poner a su disposición.

Comentario final

La base de datos y las grabaciones originales que estamos entregando tienen un potencial enorme para desarrollar varias preguntas de investigación. Por otro lado, la colección de sonidos de la LABIEXAL es la primera en su tipo en nuestro país y hoy día de las más importantes en

Latinoamérica. El crecimiento de dicha colección estará ligado a (1) proyectos de investigación que podamos implementar en el futuro inmediato, y (2) colaboraciones con otras instituciones en la negociación de donaciones e intercambios de sonidos y en la obtención de grabaciones originales. El apoyo recibido por la CONABIO ha sido fundamental para iniciar dicha colección ya que pudimos adquirir el equipo mínimo para el análisis, edición, y almacenamiento de sonidos. Del presupuesto otorgado por la CONABIO (\$107, 295) podemos decir que cada registro en la base de datos (sonido, sonograma, datos asociados) costó aproximadamente \$379 pesos, de haber cumplido con nuestra meta en el número de registros, estos hubiésemos costado \$215 pesos, es decir, 164 pesos más baratos. Es probable que el costo por registro en otros proyectos de bases de datos apoyados por la CONABIO sea mucho más bajo, pero hay que recordar que no es lo mismo registrar la presencia de una especie en una zona que grabar sus vocalizaciones. Es decir, el esfuerzo que se hace entre estos dos escenarios es muy distinto. Además, para estimar el costo real de cada uno de los registros entregados en la base de datos habría que considerar gastos que no fueron considerados de mi parte en mi propuesta original ni en el transcurso del proyecto, tal es el caso de viáticos, la plaza de un técnico de tiempo completo, la adquisición de equipo y software con proyectos alternos (grabadoras, parábolas, micrófonos, computadoras, etc.), y la creación del Laboratorio de Bioacústica. Aunque el costo real de cada registro se incrementaría enormemente, el apoyo de la CONABIO a nuestro proyecto ha tenido sin duda un efecto positivo en el desarrollo de una línea de investigación prometedora y la infraestructura necesaria.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Comparación entre el canto del macho de *Lampornis amethystinus* con el canto de otras especies cercanamente emparentadas. Nótese la complejidad de los cantos donde muchas frases y sílabas se pueden identificar por varios elementos.
- Figura 2.** En esta figura se ilustra la variación poblacional de especies de *Hylorchilus*.
- Figura 3.** Hipótesis filogenética de las relaciones entre varios grupos de troglodítidos que sugiere monofilia de los grupos de *Hylorchilus*, *Catherpes* y *Salpinctes*.
- Figura 4.** Los cantos de *C. mexicanus* y uno de los cantos de *Hylorchilus sumichrasti* consisten en una serie descendiente de notas aceleradas igualmente inflexionadas, que se desaceleran al final. En cambio, el canto de *S. obsoletus* es muy diferente. En este trabajo concluimos que las similitudes en las características vocales de *Hylorchilus* y *Catherpes* son el resultado de ancestría común (homologías verdaderas).
- Figura 5.** Cantos de *Uropsila leucogastra* de poblaciones disyuntas. A pesar de que morfológicamente estas poblaciones son casi indistinguibles, nótese que la estructura de sus cantos es distinta.
- Figura 6.** Los trogones amarillos de oriente (*Trogon violaceus*) y occidente (*T. citreolus*) son considerados como especies distintas ya que difieren en la coloración del iris y la iridiscencia. Aunado a esta diferenciación, sus vocalizaciones difieren marcadamente, no solo entre estas formas sino entre varias especies de trogones y quetzal, en donde la diferencia fundamental entre sus vocalizaciones es el número de notas emitidas por segundo y la duración entre los intervalos de silencios.
- Figura 7.** Aunque existen diferencias morfológicas sutiles entre *Ortalis poliocephala* de occidente y *Ortalis vetula* de oriente (coloración del vientre y cabeza), sus vocalizaciones son muy parecidas ya que tienen la misma estructura aunque difieran en el rango de frecuencia (mayor en *O. poliocephala*).
- Figura 8.** Diagrama que ilustra la variación en la estructura del canto de dos especies de *Amazilia*.
- Figura 9.** Diagrama que ilustra la relación entre diferentes campos de la base de datos relacionable generada en FileMaker Pro, en donde se incluye la posibilidad de escuchar el sonido al que se hace referencia, y que estará creciendo conforme vayamos incluyendo imágenes, video, etc.
- Figura 10.** Diagrama que ilustra la estructura de una vocalización y el tipo de información que se puede generar a través de estos gráficos.
- Figura 11.** En este caso, el carácter es la frecuencia enfatizada (KHz) de las notas en la vocalización de forrajeo, en la cual con una gráfica de "bigotes y cajas" se pueden observar

claramente tres estados de carácter. En ocasiones, este proceso no es tan directo y se debe recurrir a otros tipos de análisis, como en el caso de la Figura 20.

Figura 12. El carácter es la duración de la sílaba (s) de la vocalización de forrajeo. Pudiera discriminarse que *A. cyanocephala* y *A. saucerottei* forman un mismo estado de carácter, separado de *A. fimbriata*. Sin embargo, una gráfica de "bigotes y cajas" no permite discriminar en el resto de las especies, por lo que otras técnicas, como la que se muestra en la Figura 21, puede ser útil.

Figura 13. El carácter sigue siendo la duración de las sílabas (s) de las vocalizaciones de forrajeo. En este caso, graficar el promedio para cada especie de la variable considerada contra su respectivo coeficiente de variación permite la discriminación de, al menos, tres grupos.

Figura 14. Mapeo de la complejidad vocal en una filogenia de Troglodytidae generada a partir de una matriz con caracteres morfológicos y conductuales.

Figura 15. Note los cambios en la complejidad vocal de *Salpinctes obsoletus* y *Troglodytes* spp. con los otros taxa más derivados.