



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Monitoreo bioacústico de las poblaciones de anuros de la
reserva de la biosfera Nahá, Chiapas, México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

RICARDO FIGUEROA HUITRÓN



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ÓSCAR ALBERTO FLORES VILLELA
2015**

Ciudad Universitaria, D. F.



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

Figuroa

Huitrón

Ricardo

55812082

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

308050376

2. Datos del tutor

Dr.

Óscar Alberto

Flores

Villela

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Blanca Estela

Hernández

Baños

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Leticia Margarita

Ochoa

Ochoa

5. Datos del sinodal 3

M. en C.

Marco Fabio

Ortiz

Ramírez

6. Datos del sinodal 4

Dr. Eduardo Octavio

Pineda

Arredondo

7. Datos del trabajo escrito

Monitoreo bioacústico de las poblaciones de anuros de la reserva de la biosfera Nahá, Chiapas, México

57p.

2015

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mucho a la Dra. Leticia Ochoa por su amabilidad, por permitirme ser su alumno y aprender de ella; y por siempre estar al tanto de mí y mi avance.

Gracias al Dr. Óscar Flores por abrirme las puertas herpetológicas del MZFC y admitirme en su grupo de trabajo.

Gracias al Biol. Alejandro Gordillo, al M. en C. Marco Ortiz y a Sahid por brindarme un valioso apoyo logístico y teórico.

Gracias a los Doctores Eduardo Pineda y Blanca Hernández, por sus comentarios y correcciones a mi trabajo.

Quiero agradecer especialmente a mis padres, que siempre me han apoyado en todo. En este loco mundo me han dado una vida privilegiada y han puesto todo de sí para hacerme una persona de bien. Gracias a mi hermana, que cuando no me hace reír es porque seguro está dormida.

Gracias a mis amigos de la prepa. A los arboleanos y guerreros divinos Alí, Ernesto, Grillo, Laura, Liz, Mau y Viri; sé que siempre puedo contar con ustedes.

Gracias a mis amigos de la facultad. A mis colegas del laboratorio de herpetología del MZFC, con quienes he compartido momentos muy agradables.

Gracias a mi prima Ana por orientarme al inicio de la carrera; a toda mi familia y amigos que han estado conmigo.

Finalmente quiero agradecer a la Facultad de Ciencias, y a la UNAM. Siempre procuraré ser digno de ellas.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Antecedentes.....	2
Sistemas de grabación automática.....	3
El canto en los anuros.....	4
Variación geográfica en las vocalizaciones de los anuros.....	6
El uso de las vocalizaciones de los anuros en estudios de bioacústica, sistemática y ecología.....	7
Bioacústica de anuros en México.....	8
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general	10
Objetivos particulares	10
ÁREA DE ESTUDIO.....	10
Localización.....	11
Geología.....	11
Climatología.....	13
Vegetación.....	14
MATERIAL Y MÉTODOS	15

Obtención de muestras.	15
Análisis de grabaciones.	17
Descripción de los cantos.	18
Variación estacional.	18
RESULTADOS	21
DISCUSIÓN	41
CONCLUSIONES	48
LITERATURA CITADA	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Descripción de las propiedades medidas en las vocalizaciones.	19
Cuadro 2.- Especies detectadas en el monitoreo bioacústico.	21
Cuadro 3.- Medias y SD de las propiedades medidas para las 12 especies.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Espectrograma de <i>Agalychnis moreletii</i>	3
Figura 2.- Macho de <i>Tlalocohyla loquax</i> inflando el saco bucal para la vocalización.	5
Figura 3.- Localización de la reserva de la Biósfera Nahá, Chiapas, México	12
Figura 4.- Vista del lago Nahá y la vegetación aledaña.....	13
Figura 5.- Tipos de vegetación presentes en la reserva de la Biósfera Nahá.	14
Figura 6.- Vereda que atraviesa el bosque tropical perennifolio.	15
Figura 7.- Localización de la grabadora A.	16
Figura 8.- Localización de la grabadora B.....	16
Figura 9.- Grabación de muestras con una grabadora de mano.	17
Figura 10.- Visualización de seis de las medidas temporales.	20
Figura 11.- Gráfica de dispersión utilizando los dos primeros componentes resultantes del PCA. .	22
Figura 12.- Espectrogramas de las especies en una misma escala de tiempo.....	23
Figura 13.- Variación estacional de las especies de <i>Craugastor</i> encontradas.	25
Figura 14.- Variación estacional de <i>A. callidryas</i> , <i>A. moreletii</i> y <i>D. ebraccatus</i>	25
Figura 15.- Espectrograma y oscilograma de <i>Craugastor loki</i>	26
Figura 16.- Variación estacional de <i>Craugastor loki</i>	26
Figura 17.- Espectrograma y oscilograma de <i>Craugastor</i> sp. 1.....	28
Figura 18.- Variación estacional de <i>Craugastor</i> sp. 1.....	29
Figura 19.- Espectrograma y oscilograma de <i>Craugastor</i> sp. 2.....	29
Figura 20.- Variación estacional de <i>Craugastor</i> sp. 2.....	30
Figura 21.- Espectrograma y oscilograma de <i>Craugastor</i> sp.3.....	31

Figura 22.- Variación estacional de <i>Craugastor</i> sp. 3.....	31
Figura 23.- Espectrograma y oscilograma de <i>Craugastor</i> sp. 4.....	32
Figura 24.- Variación estacional de <i>Craugastor</i> sp. 4.....	32
Figura 25.- Espectrograma y oscilograma de <i>Craugastor</i> sp. 5.....	33
Figura 26.- Variación estacional de <i>Craugastor</i> sp. 5.....	34
Figura 27.- Espectrograma y oscilograma de <i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i>	34
Figura 28.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de <i>A. callidryas</i>	35
Figura 29.- Espectrograma y oscilograma del segundo tipo de canto registrado para <i>A. callidryas</i>	36
Figura 30.- Variación estacional de <i>Agalychnis callidryas</i>	36
Figura 31.- Espectrograma y oscilograma de <i>Agalychnis moreletii</i>	37
Figura 32.- Variación estacional de <i>Agalychnis moreletii</i>	38
Figura 33.- Espectrograma y oscilograma de <i>Dendropsophus ebraccatus</i>	39
Figura 34.- Variación estacional de <i>Dendropsophus ebraccatus</i>	39
Figura 35.- Espectrograma y oscilograma de <i>Tlalocohyla loquax</i>	40
Figura 36.- Espectrograma y oscilograma de <i>Lithobates brownorum</i>	41

RESUMEN

El uso de técnicas bioacústicas para el estudio de las poblaciones naturales ha cobrado fuerza en los últimos años. Una de las modalidades de reciente uso es el de los sistemas de grabación automática (SGA). Este método permite al investigador obtener una gran cantidad de información acústica en lugares y/o condiciones climáticas de difícil acceso, con un gasto económico y un esfuerzo de muestreo en campo mucho menor con respecto a monitoreos tradicionales. En los anuros el canto juega un rol de suma importancia en la reproducción y la selección sexual, ya que transmite características físicas al oyente, así como su localización. Al ser una característica tan distintiva del grupo, los monitoreos bioacústicos son una buena opción para utilizar en monitoreos poblacionales, sin embargo, en México casi no se han realizado en anfibios. El objetivo de este trabajo fue realizar un monitoreo bioacústico de las poblaciones de anuros de la Reserva de la Biósfera Nahá, en Chiapas. Utilizando un SGA compuesto por dos grabadoras Songmeter SM2, se obtuvieron 370 horas de grabación en las que se identificaron 12 especies (5 de ellas identificadas al nivel de género). Con el programa Raven Pro 1.4 se midieron 8 características temporales de los cantos y una espectral; además de obtener los espectrogramas para todas las especies. Se encontró una gran similitud entre *Craugastor loki* y otras dos especies del género que podría estar conectado con la similitud morfológica presente en ese complejo de especies o a una estrategia para prevenir la depredación. Con los datos de actividad acústica de las especies se calculó la frecuencia temporal del canto de las especies y se crearon gráficas que muestran la variación estacional de las especies. Los patrones de actividad se vieron determinadas por las condiciones de temperatura y precipitación. Las especies del género *Craugastor* mostraron poca abundancia en el muestreo, mientras que las especies con larva acuática o desarrollo indirecto (*A. callidryas*, *A. moreletii* y *D. ebraccatus*) mostraron gran abundancia. Además se observó que algunas especies ampliaron su periodo normal de actividad reproductiva. Los cantos obtenidos y los archivos de audio clasificados representan una base con la que se puede comenzar la construcción de la primera biblioteca de anuros de México.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

La bioacústica se define como el estudio de la comunicación acústica entre los animales, ésta comprende desde las características fisiológicas y anatómicas que dan origen a las vocalizaciones hasta el comportamiento asociado a la recepción e interpretación de los sonidos y el análisis de las propiedades de las vocalizaciones (Baptista & Gaunt, 1994; Tubaro, 1999). Las grabaciones de los sonidos producidos por los animales comenzaron a realizarse desde el siglo XIX, sin embargo, no se contaba con el equipo adecuado para la investigación de campo. En la primera mitad del siglo XX ocurrieron avances tecnológicos que facilitaron esta tarea, siendo los principales la renovación de la grabadora de cinta magnética por parte de los alemanes y la invención del espectrógrafo de audio por parte de los estadounidenses (Baptista & Gaunt, 1994). Ambas tecnologías se utilizaron con fines militares durante la Segunda Guerra Mundial. No fue sino hasta el fin de la guerra que esta tecnología llegó al mercado y al alcance de la comunidad científica. A partir de este desarrollo tecnológico, la bioacústica comenzó a tomar auge como una disciplina establecida (Baptista & Gaunt, 1994). El espectrógrafo de audio facilitó el análisis sistemático de las grabaciones en el laboratorio mediante la obtención de espectrogramas; que son una representación gráfica de un sonido. A diferencia de los oscilogramas –que son la visualización del sonido en forma de onda– los espectrogramas son imágenes que muestran en el eje X el tiempo, comúnmente en segundos, en el eje Y la frecuencia (generalmente en kHz) y en el eje Z la intensidad de la vocalización mostrada mediante una escala de colores (Villanueva-Rivera et al., 2011; Figura 1). Los espectrogramas son muy útiles para la identificación de especies puesto que permiten hacer comparaciones tanto cualitativas como cuantitativas de los cantos, utilizando diferentes características (Gilbert, Mcgregor, & Tyler, 1994). También son útiles para percibir patrones conductuales del canto, como lo hicieron Sosa-López et al. (2013), y para los estudios de variación en el canto, ya sea geográfica (Pettitt, Bourne, & Bee, 2013) o debido a las condiciones climáticas (Valetti, Salas, & Martino, 2013).

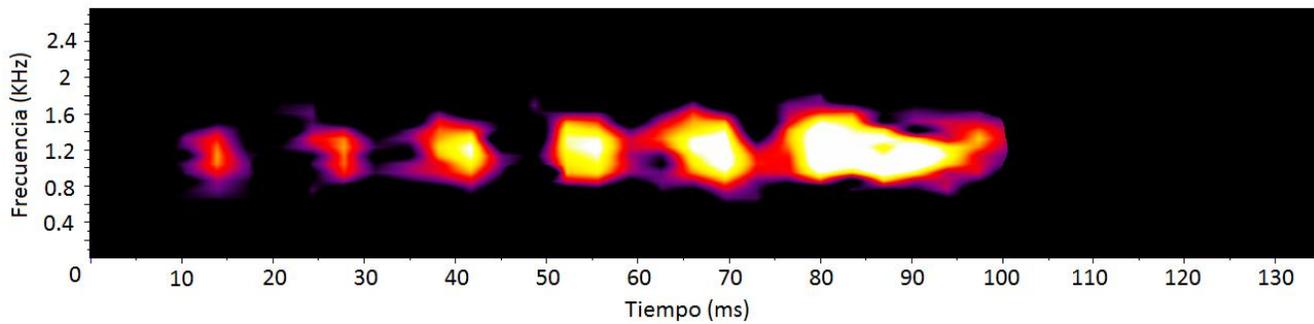


Figura 1.- Espectrograma de *Agalychnis moreletii*. Se pueden observar seis pulsos de corta duración. Los colores más claros indican una mayor intensidad en la vocalización.

Sistemas de grabación automática.

El empleo de las vocalizaciones ha sido una herramienta de uso reciente para el monitoreo de los ambientes terrestres y de los anfibios (Hsu, Kam, & Fellers, 2005). Los cantos son muy eficientes para confirmar la presencia de una especie, sobre todo en zonas donde la visibilidad es poca debido a la vegetación densa que existe en ciertos ambientes, como los bosques tropicales perennifolios; o en el estudio de especies nocturnas (Caycedo-Rosales, Ruiz-Muñoz, & Orozco-Alzate, 2013). La obtención de las vocalizaciones se puede hacer de manera presencial, con un equipo de grabadora y micrófono de mano, o con un sistema de grabación automática (SGA). Los SGA son dispositivos utilizados para grabar audio en tiempos predeterminados. Tienen ciertas ventajas sobre los métodos de grabación tradicionales, como el poder grabar sonidos en diferentes lugares de manera simultánea y en escalas temporales amplias, aumentando considerablemente el tamaño de muestra (Caycedo-Rosales et al., 2013; Hsu et al., 2005; Waddle, Thigpen, & Glorioso, 2009). En este sentido los SGA son de bajo costo en comparación con un muestreo estandarizado tradicional de campo, puesto que el número de visitas a la localidad de estudio y de horas-hombre en el campo necesarias para juntar una gran cantidad de datos se ven ampliamente reducidas. Por otra parte, la grabación por medio de SGA es un método no invasivo (Herrera-Juárez, 2013; Waddle et al., 2009), lo que permite cuantificar las variaciones de poblacionales naturales sin perturbar a las especies de estudio. Es debido a esto que las grabaciones son una opción viable para el monitoreo de las poblaciones de anuros así como para la estimación de la riqueza

faunística en un área. En la actualidad se ha vuelto una técnica de monitoreo cada vez más fiable y atractiva para los investigadores, sin embargo el empleo a gran escala de SGA sólo se ha llevado a cabo en pocos estudios recientes (Llusia, Márquez, & Bowker, 2011).

El canto en los anuros.

Se ha documentado la aparición temprana del canto en la historia evolutiva de los anuros (Salthe & Mechm, 1974). Al igual que en otros taxones como las aves, insectos, mamíferos (Llusia et al., 2013) y reptiles como tortugas y cocodrilos (Ferrara, Vogt, & Sousa-Lima, 2013; Vergne et al., 2012); en los anuros la conducta del canto juega un rol primordial en la reproducción. Las vocalizaciones de los anuros actúan en la orientación de ambos sexos hacia los sitios de posible reproducción y en la selección sexual por parte de las hembras (Valetti et al., 2013). Se piensa que fuertes presiones de selección han moldeado la evolución del canto actuando sobre su función de reconocimiento de especies y en la selección sexual (Candolin, 2003). Debido a esto los cantos han sufrido una serie de cambios evolutivos relativamente rápidos que pueden representar adaptaciones locales para mejorar la propagación del sonido, minimizar la interferencia del ruido de fondo y para evitar la posible detección por parte de depredadores gracias a la vocalización, por lo tanto, la variación resultante de todo este proceso, en muchas ocasiones, muestra una alta correspondencia filogenética (Erdtmann & Amézquita, 2009).

Las vocalizaciones de los anuros pueden variar en su estructura acústica de acuerdo con la función que tienen. Debido a esto pueden ser clasificados en cinco categorías:

- Cantos de anuncio.- su objetivo es llamar la atención de las hembras y promover su localización y selección sexual, además de generar competencia directa con otros machos rivales (Gerhardt, 1994; Serrano, 2009). Usualmente este tipo de cantos forman coros, que son el conjunto de cantos de muchos individuos, de una o más especies, produciéndose al unísono.
- Cantos de encuentro.- se producen ante la presencia cercana de otro individuo rival. También pueden participar en la defensa o adquisición de territorios y/o de

recursos (Gerhardt, 1994; Serrano, 2009). También se producen en presencia de hembras, para guiarlas hacia el sitio de ovoposición (Bosch, 2013).

- Llamado de alarma.- son producidos en condiciones de estrés, como la presencia de algún depredador (Serrano, 2009). Sin embargo, no hay mucha evidencia de que este tipo de cantos forme parte importante de la comunicación intraespecífica (Bosch, 2013).
- Cantos de reciprocidad, que emiten ciertas hembras ante estímulos de los machos. Son pocas las especies en las que se presenta este tipo de cantos, y en algunas ocasiones son muy parecidos al canto de los machos (Bosch, 2013; Serrano, 2009).
- Llamados de liberación.- son emitidos por individuos que rechazan el acto del amplexo. Estas notas son cortas, irregulares y de estructura acústica muy variable (Bosch, 2013; Gerhardt, 1994).

El sistema muscular que da origen a las vocalizaciones en los anuros está compuesto por el aparato de la laringe, por los músculos del tronco (que regulan las contracciones musculares que dan origen al canto) y por el saco bucal, que se presenta únicamente en machos (Figura 2). Sin embargo, la presencia del saco bucal no es estrictamente necesaria para la producción de sonidos puesto que hembras y machos de ciertas especies pueden producir vocalizaciones sin poseer esta estructura (Serrano, 2009; Wells, 2010). El emitir vocalizaciones representa un gasto energético alto para los anuros, como ejemplo tenemos a las ranas del género *Smilisca*, en las que la mayor cantidad de vasos capilares, mitocondrias y actividad enzimática se encuentran en los músculos troncales; mismos que constituyen del 6 al 10% de la masa total del organismo (Serrano, 2009, p. 12).



Figura 2.- Macho de *Tlalocohyla loquax* inflando el saco bucal para la vocalización.

Variación geográfica en las vocalizaciones de los anuros.

Muchos estudios han documentado la existencia de variación geográfica en las vocalizaciones de los anuros (*p. ej.* Klymus, Humfeld, & Gerhardt, 2012; Pröhl et al., 2007; Reichert, 2013; Ryan, Rand, & Weigt, 1996; Smith & Hunter, 2005). Además se ha encontrado que la velocidad de la divergencia de los cantos es mucho más alta en condiciones de simpatria con especies cercanas (Serrano, 2009, pag. 9). Existen cinco posibles factores que determinan la aparición de esta variación (Pröhl et al., 2007):

- Las diferencias en el medio ambiente (temperatura, humedad, presión atmosférica, entre otras). Los anfibios son organismos ectotermos, por lo que su fisiología, incluyendo su conducta reproductora y vocalizadora, está ligada a las condiciones ambientales en las que se encuentran (Serrano, 2009). Como consecuencia de esto, se ha documentado que el cambio climático puede afectar procesos fisiológicos asociados a las vocalizaciones, y así modificar su intensidad, estacionalidad y la consiguiente actividad reproductiva (Llusia et al., 2013).
- La variación en la presencia de depredadores y parásitos que orienten la estructura o la frecuencia de las vocalizaciones. En un ambiente con alta abundancia de depredadores, puede disminuir la proporción de llamados de alarma emitidos, lo que podría modificar la conducta reproductiva de la especie (Pröhl et al., 2007).
- La diferencia en las preferencias locales por ciertos tipos de vocalizaciones. Se ha visto que el patrón de elección de las hembras puede provocar variación en los cantos de los machos. Se ha sugerido que la variación reducida en los cantos de una población se debe a una selección estabilizadora por parte de las hembras; mientras que una población con mucha variación en los cantos a menudo está sujeta a una selección direccional por parte de las hembras (Reichert, 2013).
- La interacción acústica con especies relacionadas. Se ha documentado evidencia de que el ruido de fondo de un coro de ranas de diferentes especies puede afectar la conducta de un individuo en particular. El solapamiento de vocalizaciones puede afectar la actividad de los machos y la selección de las hembras, provocando fallas en la detección de cantos e incluso errores en la discriminación (Wollerman &

Wiley, 2002a). La selección direccional de las hembras hacia un tipo de canto que se distinga con claridad entre el coro puede dar origen a la variación geográfica de los cantos de una especie.

- La deriva génica. Este proceso consiste en la selección al azar de alelos dentro del pool genético en cada evento de reproducción (Lynch et al., 2011), lo cual modifica la frecuencia alélica en una población y, por ende, características fenotípicas como el canto.

El uso de las vocalizaciones de los anuros en estudios de bioacústica, sistemática y ecología.

Las diferencias que presentan las vocalizaciones en cuanto a sus características espectro-temporales pueden ser caracteres importantes para determinar posibles diferencias entre las poblaciones de una especie (Llusia et al., 2011; Tubaro, 1999). De la misma manera, en comunidades donde se mezclan varias especies resultan relevantes para el reconocimiento entre especies. Estas diferencias representan adaptaciones que evitan o reducen la interferencia acústica entre especies o individuos (Martins & Jim, 2003).

No se ha obtenido evidencia de que las vocalizaciones de los anuros estén relacionadas con un aprendizaje vocal de los individuos, por lo que se cree que están determinadas genéticamente (Gingras et al., 2013). Es por esto que en algunos casos también se han utilizado datos respectivos al análisis de la producción y diseño de las vocalizaciones y otras características acústicas de los cantos para inferir relaciones filogenéticas entre taxones (Bosch, 2013). Gingras et al., (2013) demostró que existe una señal filogenética robusta en los parámetros acústicos de los cantos de anuncio en 90 especies de anuros (de los clados *Bufo*, *Hylinae*, *Leptodactylus* y *Rana*), y por ello, las vocalizaciones son una herramienta muy útil en la identificación de especies de anuros (Wang et al., 2014; Wen, Vasquez, & Castroviejo-Fisher, 2012).

Bioacústica de anuros en México.

En la actualidad se reconocen 376 especies de anfibios mexicanas de las cuales 252 (el 67%) son endémicas al país. Del total de especies, 234 (el 62%) pertenecen al orden Anura (Parra-Olea et al., 2014). Sin embargo, se ha descrito el repertorio vocal de pocos anuros mexicanos; en ocasiones junto con la descripción de especies nuevas (Frost & Bagnara, 1976; Reyes-Velasco et al., 2015; Vásquez-Díaz & Flores-Villela, 1991). El mayor aporte en estas descripciones es el de Duellman (2001), que describe las vocalizaciones, en términos de duración, frecuencia y tasa de pulsos, de varias especies de hílidos mexicanos. En los últimos años se han investigado la actividad acústica y la composición de las vocalizaciones de siete especies de anuros en Puebla (Juárez-Ortíz, 2012; Morales-Mota, 2014). En Veracruz se ha descrito el repertorio vocal de *Ecnomiohyla miotympanum* (Mendizábal-Bevérido, 2011) y de otras ocho especies de la región montañosa central (Sarmiento-Rojas, 2014). También en Veracruz, Serrano (2009) estudió la comunicación acústica entre hembras y machos y el reconocimiento sonoro en *Eleutherodactylus cystignathoides*. Investigadores estadounidenses han utilizado vocalizaciones de anuros que se distribuyen en Estados Unidos y el norte de México para realizar estudios de variación geográfica (p. ej. Gergus, Reeder, & Sullivan, 2004; Gergus, Sullivan, & Malmos, 1997; Klymus et al., 2012; Ryan et al., 1996), y de sistemática (Nelson, 1974). Por otra parte, los monitoreos de poblaciones naturales utilizando la bioacústica se han hecho con aves (Herrera-Juárez, 2013), mamíferos marinos (Frasier et al., 2011; Hodge, Tielens, & Rice, 2015; Sidorovskaia et al., 2004) e insectos (Buzzetti & Barrientos-Lozano, 2011; Sueur, 2002). No se encontró referencia de un estudio bioacústico con anuros mexicanos que represente un monitoreo de las poblaciones a través del tiempo, previo a este trabajo.

JUSTIFICACIÓN

Los anfibios son el grupo de vertebrados que mayor peligro enfrenta en la actualidad. La región neotropical es la zona más afectada, ya que ahí se encuentra la mayor cantidad de especies con una tasa rápida de disminución poblacional (estimada en el 63% de las especies; Stuart et al., 2004). Ante este grave problema se ha vuelto de suma importancia inventariar los recursos naturales haciendo uso de las teorías, técnicas y métodos actualizados (Llorente-Bousquets et al., 2008; Llorente-Bousquets & Soberón, 1994), ya que sólo con el conocimiento de los componentes de la biodiversidad, se pueden crear estrategias eficaces para su conservación.

Se ha observado que es necesario la realización de monitoreos a largo plazo para comprender la dinámica poblacional de los anuros y los cambios de ésta (Pechmann et al., 1991). En los últimos años las vocalizaciones se han usado mucho para el monitoreo de las poblaciones de anuros y la estimación de la abundancia de anuros machos (Waddle et al., 2009). A pesar de ser un componente importante para la biodiversidad, los patrones bioacústicos de los anuros han sido poco estudiados, siendo pocas las especies de las cuales se ha descrito con detalle su repertorio vocal. Esa información puede proveer material importante para estrategias de conservación basadas en monitoreos y censos bioacústicos (Bee, Suyesh, & Biju, 2013). Adicionalmente, el estudio comparativo de las vocalizaciones, basado en parámetros cualitativos y cuantitativos, puede proveer información necesaria para resolver las incógnitas taxonómicas y filogenéticas que aún existen dentro de algunos grupos de anfibios (Márquez, De la Riva, & Bosch, 1993).

Los monitoreos bioacústicos de anuros son comunes en Estados Unidos y Canadá (Crouch III & Paton, 2002; Harings & Boeing, 2014), pero no así en México; y tampoco posee una Biblioteca de sonidos de anuros establecida, con la cual se podría obtener la información de las sus vocalizaciones necesaria para los estudios señalados anteriormente.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar un monitoreo de las poblaciones de anuros en el área de la reserva de la biósfera Nahá con base en técnicas bioacústicas y sentar las bases para la primera biblioteca especializada en sonidos de anuros en México.

Objetivos particulares

- Grabar las vocalizaciones de las especies de anuros que habitan el área e identificarlas a través de sus cantos.
- Determinar las características de los cantos de las especies y su espectrograma.
- Determinar la variación estacional en la emisión del canto de las especies encontradas.
- Con base en las grabaciones de las especies encontradas, sentar las bases para empezar la primera Biblioteca de sonidos de anuros para México.

ÁREA DE ESTUDIO

En la década de los 70's el Gobierno Mexicano entregó 662,000 ha del noroeste de la selva Lacandona a jefes de familia de las comunidades lacandonas locales, y de las etnias Tzetzales y Choles; se creó así la denominada Comunidad Zona Lacandona (CONANP, 2006). En un esfuerzo por la conservación de la selva Lacandona, en 1996 el gobierno de Chiapas declaró a Nahá Zona de Restauración Ecológica. Posteriormente el gobierno federal mexicano la declaró Área de Protección de Flora y Fauna (APFF), el 23 de septiembre de 1998 (CONANP, 2006). Por su parte, la UNESCO la incluyó en su Red Mundial de Reservas de la biosfera el 2 de junio de 2010 (UNESCO, 2015).

En la actualidad es una de las siete áreas naturales protegidas que en conjunto conservan los ecosistemas tropicales más importantes de México ubicados en la Selva Lacandona. En estos ecosistemas habitan numerosas especies características de las regiones Neártica y Neotropical, muchas de las cuales se encuentran amenazadas o en

peligro de extinción (Cruz-Lara et al., 2004). Nahá posee gran diversidad y riqueza biológica debido a las condiciones de alta humedad, ubicación en la franja tropical, variaciones altitudinales y geomorfología, que favorecen la conformación de ecosistemas como el bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña y bosque de coníferas, los cuales sirven de hábitat para diversas especies de flora y fauna (CONANP, 2006).

Localización.

El área de Nahá forma parte de la Zona Norte de la Selva Lacandona, la cual se localiza en el noreste del estado de Chiapas. La región de Nahá está integrada a la subcuenca del río Lacanjá; en la porción alta de la gran cuenca del río Lacantún (Ochoa-Gaona et al., 2007). El APFF Nahá ocupa una superficie de 3847.41 hectáreas y se ubica entre los paralelos 16° 56' 41" y 17° 00' 42" de latitud norte y 91°32' 52" y 91° 37' 43" de longitud oeste. Colinda con los siguientes ejidos: al norte con Lacandón, al sur con Villa Las Rosas, al este El Jardín y al oeste con Ignacio Zaragoza, todos pertenecientes al municipio de Ocosingo (CONANP, 2006; Figura 3).

Geología.

La mayor parte del área está ocupada por las formaciones geológicas del Cretácico superior, que se componen esencialmente de calizas, en algunos de estos estratos se intercalan calizas dolomíticas y arcillosas originadas por depósitos de plataformas de aguas marinas relativamente profunda. El sistema de lagos de Nahá está integrado por nueve cuerpos de agua permanentes cuyo nivel varía muy poco entre la temporada seca y la húmeda (Figura 4). Este sistema se comunica con el sistema lacustre de Metzabok a través del Río Nahá. Este fenómeno incrementa la importancia del papel hidrológico que ambas áreas protegidas tienen en la recarga de acuíferos de la subcuenca. Los tipos de suelo que se encuentran en la región son los regosoles, vertisoles, litosoles y cambisoles (CONANP, 2006).

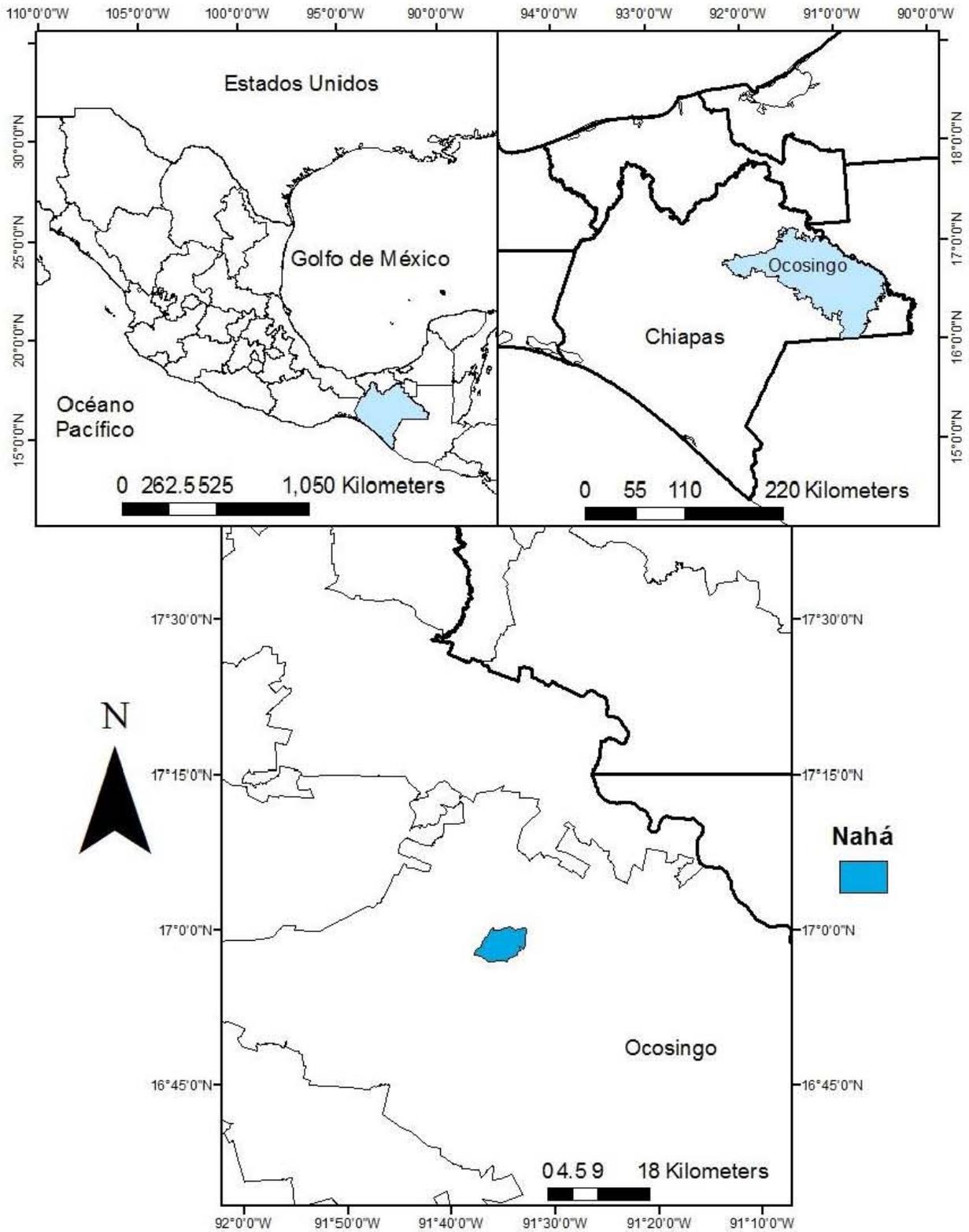


Figura 3.- Localización de la reserva de la Biósfera Nahá, Chiapas, México



Figura 4.- Vista del lago Nahá y la vegetación aledaña.

Climatología.

El clima que se presenta en esta área es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación total anual suma 1,862 mm, distribuidos en dos períodos bien definidos: uno de alta humedad y otro de relativa sequía. Entre mayo y diciembre, durante el período húmedo, llueve un promedio de 1,716 mm, que representa el 92 % de la precipitación total anual; mientras que el 8 % restante (146mm) se distribuye en ligeras precipitaciones conocidas como nortes, entre enero y abril. La temperatura media mensual es de 23.6°C, con una oscilación térmica de 5.6°C. El mes más frío es enero, con un promedio de 20.9°C, y los más cálidos son mayo y junio con un promedio mensual de 25.6°C (CONANP, 2006).

Vegetación.

La vegetación de Nahá está clasificada como Bosque Tropical Perennifolio, Bosque mesófilo de montaña, Bosque de *Pinus*, popal-tular y vegetación secundaria, de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (2006). Esta región de la selva Lacandona ha sufrido un proceso continuo de destrucción de los recursos naturales para el desarrollo de áreas de agricultura y de pastizales para la ganadería (De Vos, 1992; Figura 5). En particular, el área de Nahá ha logrado mantenerse conservada debido a su estatus de conservación (Figura 6), sin embargo, ha sufrido extracción excesiva de caoba y en 1998 gran parte del bosque mesófilo se vio afectada por un incendio forestal.

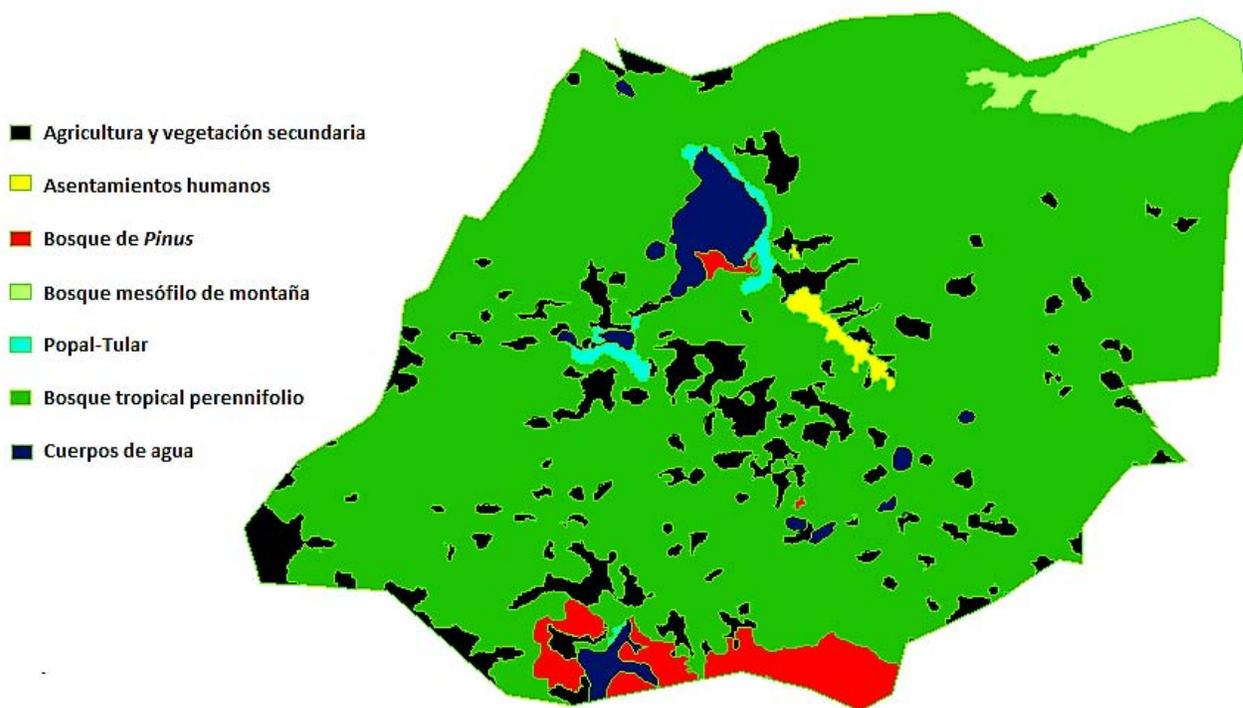


Figura 5.- Tipos de vegetación presentes en la reserva de la Biósfera Nahá.



Figura 6.- Vereda que atraviesa el bosque tropical perennifolio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención de muestras.

Las grabaciones se obtuvieron mediante dos métodos: 1) un sistema de grabación automática (SGA) y 2) una grabadora de voz marca Coby, modelo CXR195-4G. El SGA se compuso por dos grabadoras Song-Meter modelo SM2 (*Firmware 3.1.0*) de dos canales y dos micrófonos modelo SMX-II. Los medios de grabación fueron cuatro memorias SD Kingston, de 32 GB cada una. Las grabaciones fueron hechas en formato .wav, con una tasa de muestreo de 48 KHz, para mantener la calidad de la grabación sin que los archivos fueran demasiado pesados y ocuparan mucho espacio en las memorias. El SGA se programó para grabar cinco minutos cada hora a partir del anochecer estimado a las 18:00 hrs, hasta las 07:00 hrs. Las grabadoras se situaron sobre un árbol a, aproximadamente,

un metro de altura sobre el suelo; y se colocaron en dos tipos de vegetación; selva mediana ($16^{\circ}57'34''$, $-91^{\circ}36'38''$, Grabadora A; Figura 7) y bosque mesófilo de montaña ($16^{\circ}58'10''$, $-91^{\circ}35'12''$, Grabadora B; Figura 8). La grabaciones directas fueron hechas en formato .wav, con una duración variable entre uno y siete minutos.



Figura 7.- Colocación de la grabadora A.



Figura 8.- Colocación de la grabadora B.

Dos equipos realizaron seis visitas a la localidad en los meses de julio y noviembre de 2013, y en abril, agosto, septiembre y noviembre de 2014. En ellas se realizó el cambio de baterías de las grabadoras y la extracción de la información contenida. Las grabaciones directas se obtuvieron durante 10 salidas nocturnas, realizadas por dos personas, durante las últimas tres visitas de 2014. Éstas se realizaron para la grabación de especies que pudiesen no encontrarse en los lugares donde se colocaron las grabadoras. En total fueron 30 horas de esfuerzo de muestreo nocturno (Figura 9), obteniendo 1.5 horas de grabación adicional.



Figura 9.- Grabación de muestras con una grabadora de mano.

Análisis de grabaciones.

Se analizaron las grabaciones obtenidas en el periodo de agosto de 2013 a agosto de 2014, para abarcar un año de muestreo. Se realizó una inspección visual y auditiva de las grabaciones con el programa Adobe Audition 3 (Adobe Systems Incorporated 2007). Este programa permite observar el espectro de sonido además de editar fragmentos de audio (Herrera-Juárez, 2013). Se seleccionaron las grabaciones con menor ruido de fondo en las que la especie vocalizaba con mayor claridad, se realizaron cortes para cada especie

y se procesaron con la opción de restauración por perfil de ruido en Adobe Audition, utilizando los valores predeterminados por el programa. Esto permitió eliminar el ruido de fondo y así poder lograr una correcta identificación de la especie.

A partir de estos cortes, se generaron los espectrogramas de las especies con el programa Raven Pro 1.4 (Laboratorio de ornitología de Cornell, NY, USA), con un valor de FFT entre los 200 y 250 según fue el caso. Con estos espectrogramas es que se observó la estructura acústica del canto de cada especie, y se generó un catálogo de espectrogramas. La identificación de especies se realizó con base en estos espectrogramas y en el reconocimiento sonoro utilizando un conjunto de grabaciones proporcionadas por la Dra. Leticia Ochoa como guía.

Descripción de los cantos.

Una vez identificadas las especies, se analizaron las grabaciones de mejor calidad con Raven. Se seleccionaron, dependiendo de su calidad general, de 10 a 30 vocalizaciones de cada especie y se midieron nueve características, ocho y una espectral (Cuadro 1, Figura 10). Estas características ya han sido utilizadas para la descripción del repertorio vocal de anuros (Bee et al., 2013). También, han sido útiles para el análisis de la variación en el canto y su correlación tanto con factores climáticos como con la condición corporal de los individuos (Bee et al., 2010). Para las mediciones se utilizó el software Raven Pro 1.4, las características temporales se midieron en la representación gráfica de la onda (oscilograma) y la propiedad espectral se midió en el espectrograma.

Variación estacional.

Se creó una matriz de datos en Excel (Microsoft, 2010) en la que a cada especie, y en cada día de grabación, se le asignó un valor de índice de canto. Este índice de canto podría tener un valor de 0 cuando no se presentaron cantos, de 1 cuando no había solapamiento de cantos entre individuos y era reconocible el número de individuos, de 2 cuando había cierto solapamiento de cantos pero no se llega a un coro completo, o de 3 cuando se presentaba el coro completo y un solapamiento total de cantos. Posteriormente los

datos se agruparon en secciones temporales de, en su mayoría, 5 días. Se calculó la frecuencia de actividad dentro de cada sección temporal dividiendo el número de días con actividad entre el número de días en la sección. Con estos datos se obtuvieron las gráficas de actividad sonora para cada especie en Excel.

Cuadro 1.- Descripción de las características medidas en las vocalizaciones. Se utilizan las unidades milisegundos (ms), pulsos por segundo (pulsos/s) y Kiloherz (KHz)

Característica	Descripción
Duración de la vocalización (ms)	Tiempo entre el inicio del primer pulso y el término del último pulso
Tiempo de ascenso de la vocalización (ms)	Tiempo entre el inicio del primer pulso y el inicio del pulso de máxima amplitud
Tiempo de descenso de la vocalización (ms)	Tiempo entre el inicio del pulso de máxima amplitud y el término del último pulso
Pulsos por vocalización	Número de pulsos en una vocalización
Tasa de pulsos (pulsos/s)	Número de pulsos menos 1, dividido entre el tiempo entre el inicio del primer pulso y el inicio del último pulso
Duración del pulso (ms)*	Tiempo entre el inicio y el término del pulso
Tiempo de ascenso del pulso (ms)*	Tiempo entre el inicio del pulso y el pico de máxima amplitud
Tiempo de descenso del pulso (ms)*	Tiempo entre el pico de máxima amplitud y el término del pulso
Frecuencia máxima (KHz)	Máxima frecuencia de la vocalización

* Se midieron en el pulso de máxima amplitud de la vocalización.

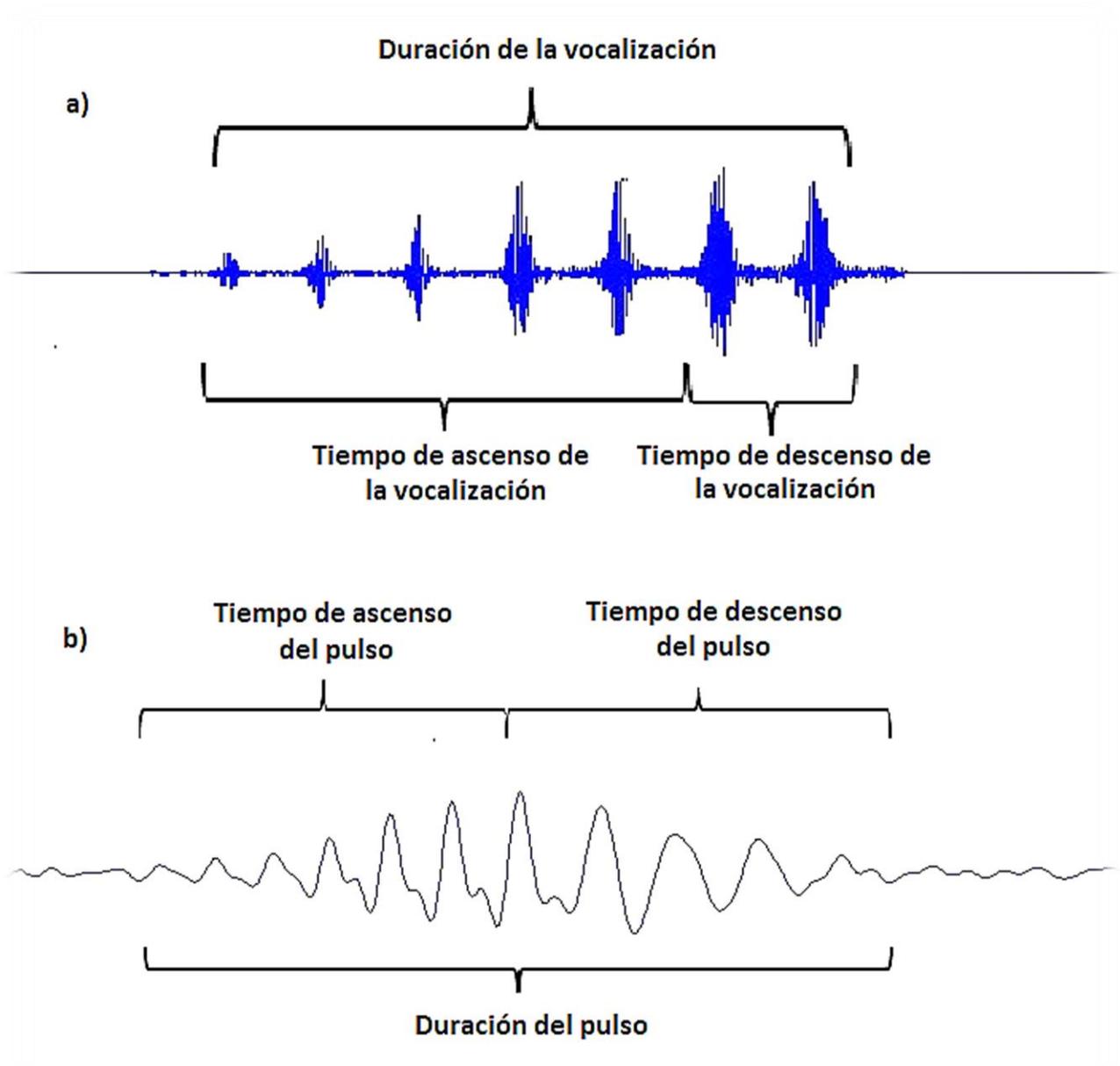


Figura 10.- Visualización de seis de las medidas temporales. a) Vocalización de *Lithobates brownorum*, se observa la determinación de la duración, el tiempo de ascenso y el tiempo de descenso. b) Ampliación del cuarto pulso de la vocalización, se observa la determinación de la duración, el tiempo de ascenso y el tiempo de descenso del pulso.

RESULTADOS

Del SGA se obtuvieron 370 horas de grabación provenientes de los meses agosto, septiembre, noviembre y diciembre de 2013, y de abril, mayo y junio de 2014; más las 1.5 horas de las salidas nocturnas, haciendo un total de 371.5 horas de grabación. El análisis de estos datos se llevó a cabo de febrero a noviembre de 2014 trabajando, en promedio, 20 horas a la semana. Del análisis de las grabaciones obtenidas por el SGA se obtuvieron vocalizaciones de nueve especies, cuatro identificadas hasta el nivel de especie y cinco identificadas hasta el nivel de género (las cinco del género *Craugastor*). En las salidas nocturnas se obtuvieron registros de tres especies más, dando un total de 12 especies (Cuadro 2). La familia mayormente representada fue Craugastoridae, con seis especies, seguida de Hylidae, con cuatro especies. Las familias Centrolenidae y Ranidae fueron representadas por una especie cada una.

Cuadro 2.- Especies detectadas en el monitoreo bioacústico en Nahá, Chiapas, México.

Familia	Especie	Método de detección
Craugastoridae	<i>Craugastor loki</i>	SGA (Grabadora A)
	<i>Craugastor</i> sp.1	SGA (Grabadora A)
	<i>Craugastor</i> sp.2	SGA (Grabadoras A y B)
	<i>Craugastor</i> sp.3	SGA (Grabadora A)
	<i>Craugastor</i> sp.4	SGA (Grabadoras A y B)
	<i>Craugastor</i> sp.5	SGA (Grabadoras A y B)
Centrolenidae	<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i>	Grabación directa
Hylidae	<i>Agalychnis callidryas</i>	SGA (Grabadora A)
	<i>Agalychnis moreletii</i>	SGA (Grabadora A)
	<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	SGA (Grabadora A)
	<i>Tlalocohyla loquax</i>	Grabación directa
Ranidae	<i>Lithobates brownorum</i>	Grabación directa

Las vocalizaciones obtenidas corresponden, en su mayoría, a cantos de anuncio. Un segundo tipo de vocalización pudo ser detectado en *A. callidryas*, *T. loquax* y *L. brownorum*, sin embargo, sólo de *A. callidryas* se pudieron obtener cortes de su segundo tipo de canto con la suficiente calidad para realizar la medición de las variables.

Las vocalizaciones de las especies del género *Craugastor* tienen una estructura muy similar, sin embargo, al no encontrarse vocalizaciones asociadas permanentemente entre sí, se decidió considerarlas como especies diferentes. Para confirmar las diferencias entre las vocalizaciones se realizó un análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) de las mediciones realizadas. Los primeros dos componentes representan el 69.7 % de la variación. Posteriormente se realizó una gráfica de dispersión con las variables de los primeros dos componentes (Figura 11). El PCA se realizó con el paquete *Vegan* 2.2-1 (Oskanen et al., 2013) y se graficó con el paquete *ggbiplot* en la plataforma R.

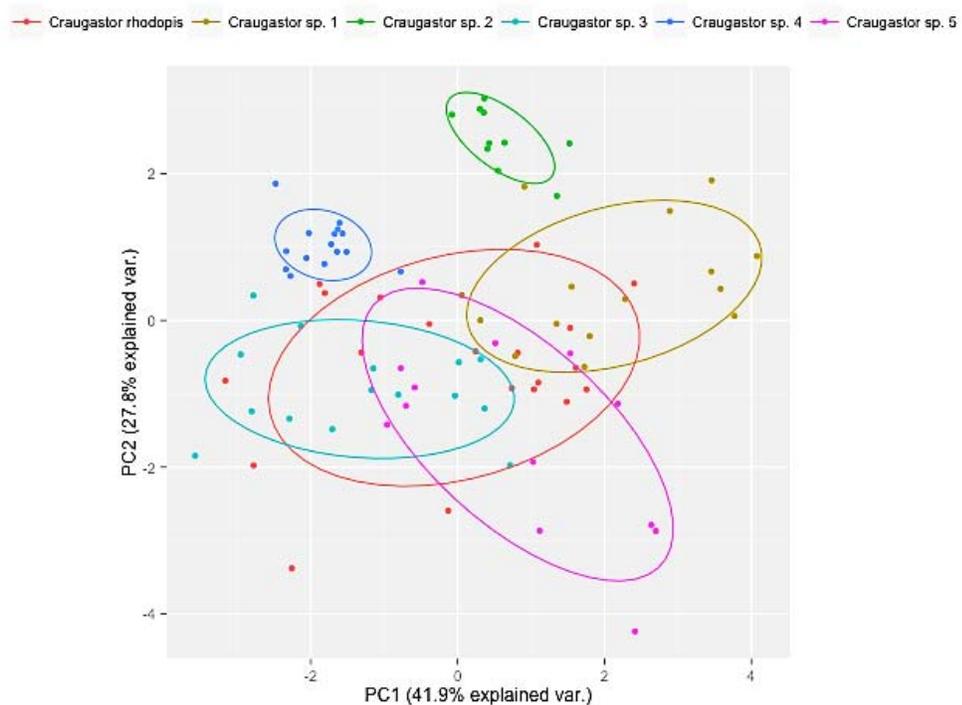


Figura 11.- Gráfica de dispersión utilizando los dos primeros componentes resultantes del PCA.

Las figuras 12, 13 y 14 describen las características del canto y la estacionalidad de todas las especies; posteriormente se detalla la información para cada especie por separado. Los espectrogramas se presentan en escala de grises para maximizar la nitidez; también, se incluyeron los oscilogramas. De los valores de las mediciones realizadas se presentan sólo las medias.

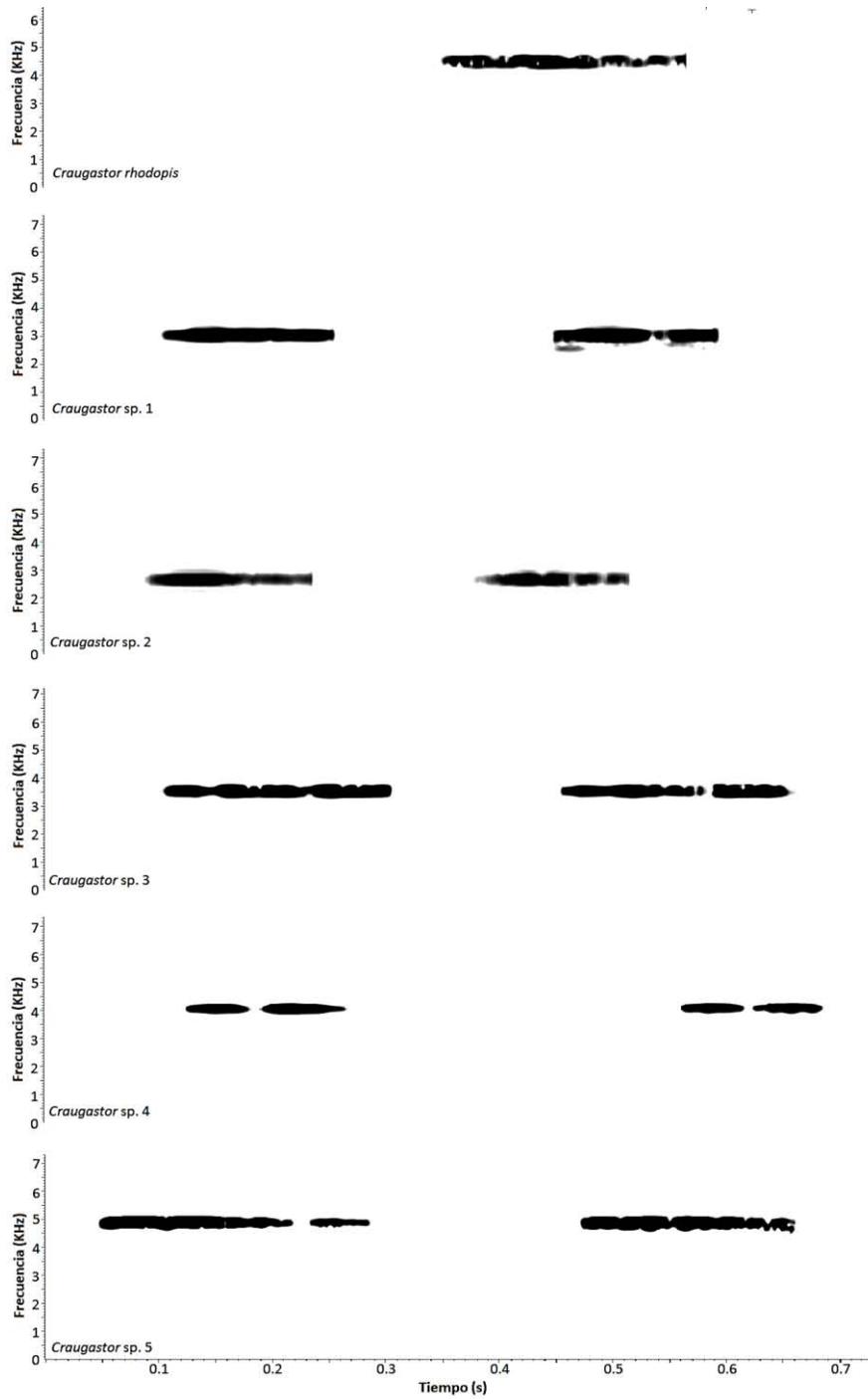


Figura 12.- Espectrogramas de las especies en una misma escala de tiempo.

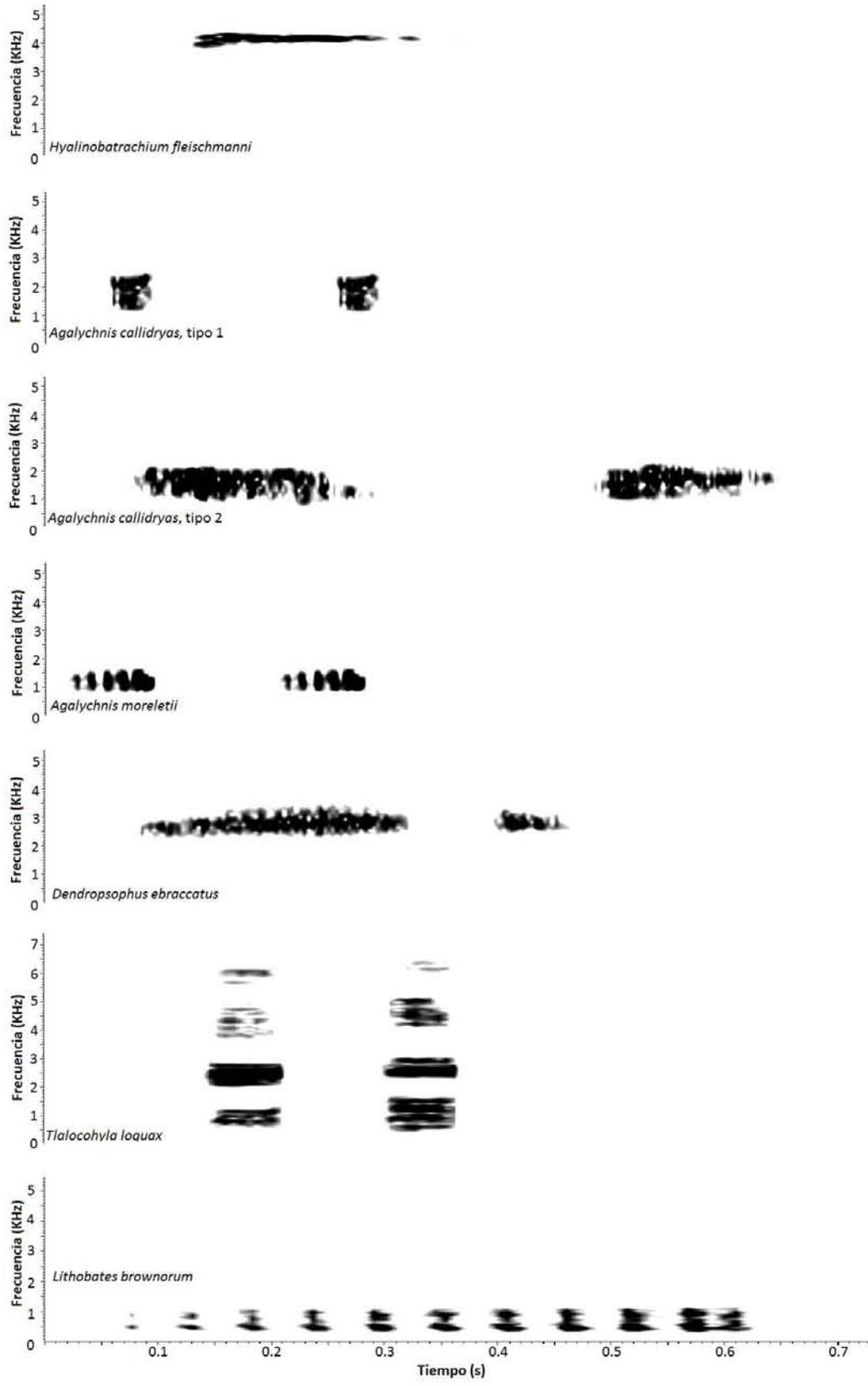


Figura 12 (cont.)- Espectrogramas de las especies en una misma escala de tiempo.

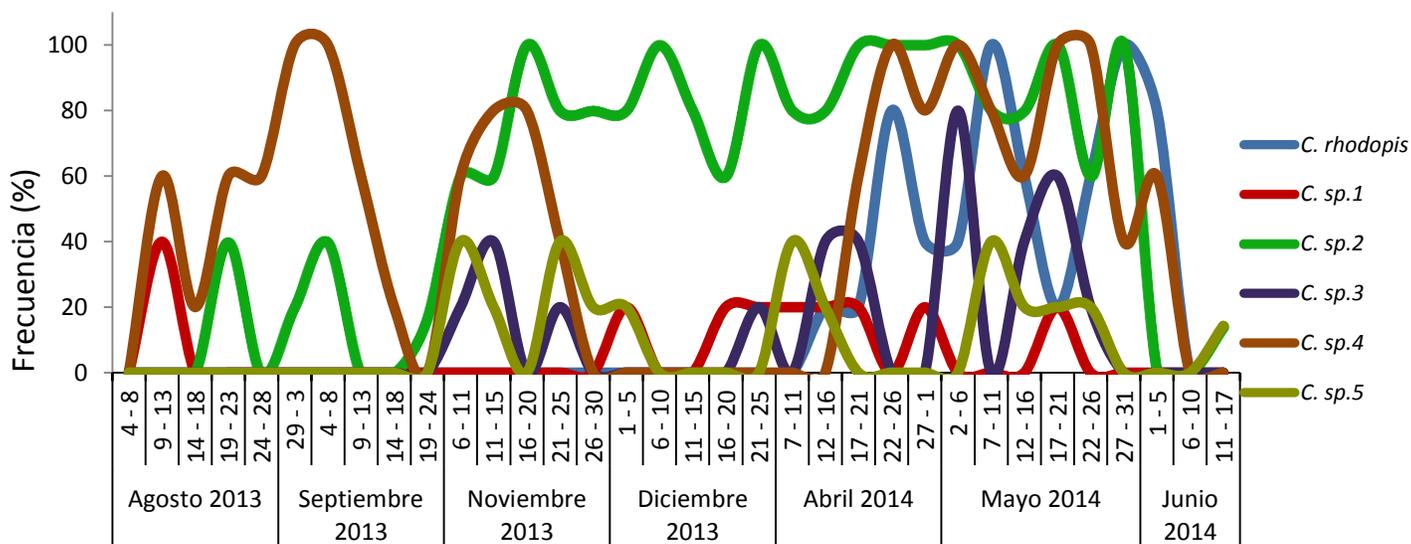


Figura 13.- Variación estacional de las especies de *Craugastor* encontradas.

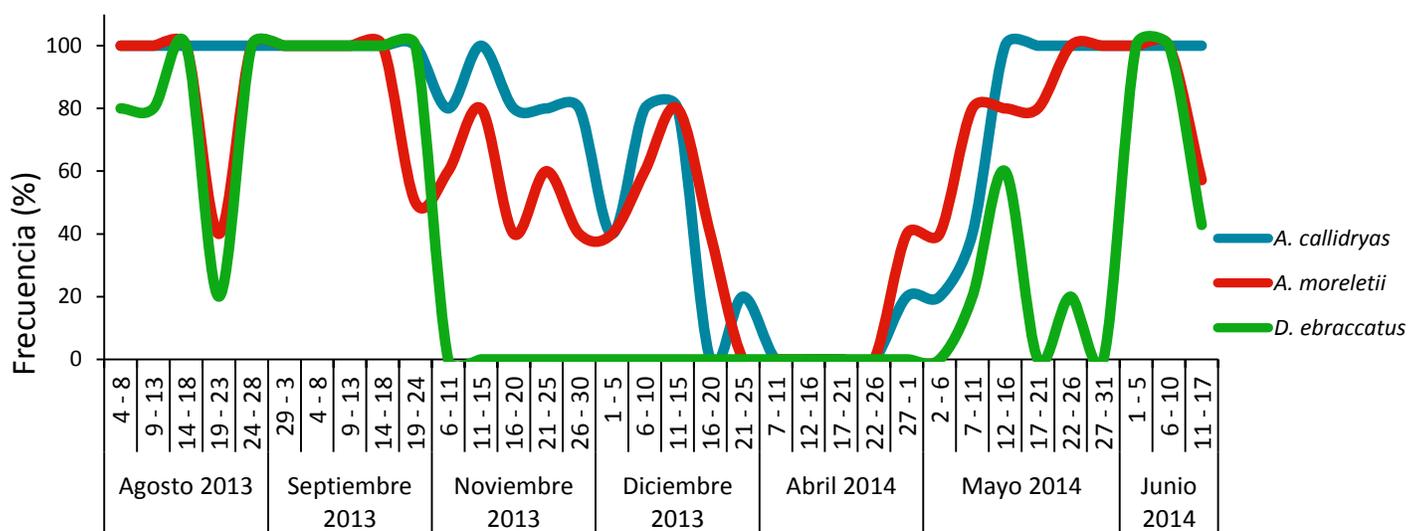


Figura 14.- Variación estacional de *A. callidryas*, *A. moreletii* y *D. ebraccatus*.

Craugastor loki

El canto es de 148.1 ms de duración, y consta de 3.8 pulsos emitidos a una tasa de 25.101 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 62.2 ms, y decae más lentamente en los siguientes 85.85 ms. Los pulsos tienen una duración de 50.35 ms. Llegan a su máxima amplitud en 22.65 ms y descienden en los 28.25 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 4.59 KHz (Cuadro 3, Figura 15).

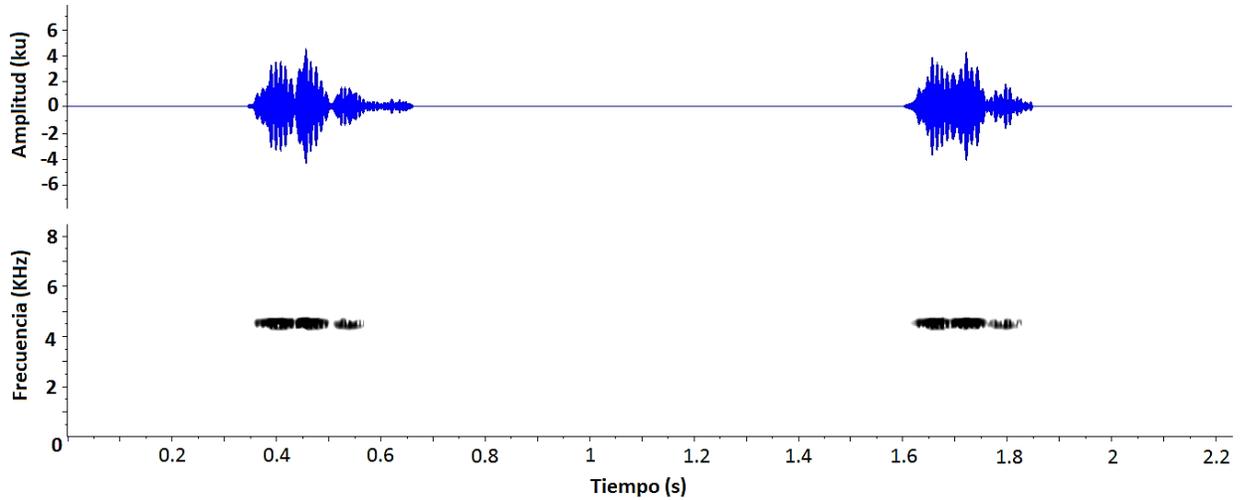


Figura 15.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Craugastor loki*

Esta especie se encuentra activa desde abril hasta junio, y muestra su pico de actividad en el mes de mayo. Obtuvo un índice de canto = 1 en prácticamente todo su periodo de actividad; solo del 7 al 11 de mayo es que se presentó un índice = 2 (Figura 16).

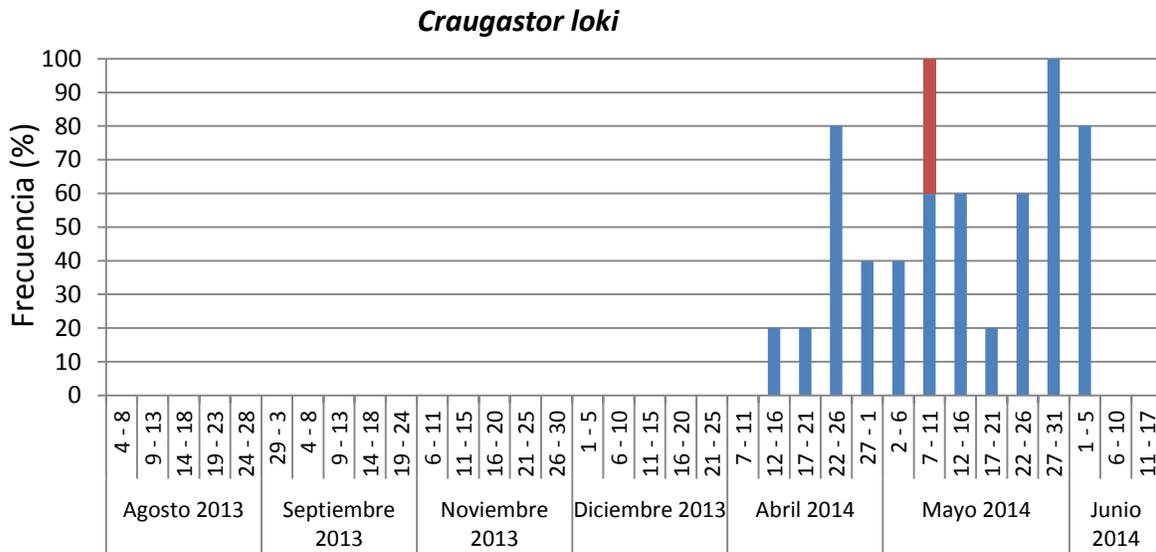


Figura 16.- Variación estacional de *Craugastor loki*. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1, y las barras rojas representan un índice = 2.

Cuadro 3.- Medias y SD (entre paréntesis) de las características medidas para las 12 especies.

Especies (n) / Medias de las características	Duración de la vocalización (ms)	Tiempo de ascenso de la vocalización (ms)	Tiempo de descenso de la vocalización (ms)	Pulsos por vocalización	Tasa de pulsos (pulsos/s)	Duración del pulso (ms)	Tiempo de ascenso del pulso (ms)	Tiempo de descenso del pulso (ms)	Frecuencia máxima (KHz)
<i>Craugastor loki</i> (20)	148.1 (26.04)	62.2 (18.96)	85.85 (30.02)	3.8 (0.77)	25.101 (6.5)	50.35 (16.53)	22.65 (9.77)	28.25 (9.18)	4.59 (0.23)
<i>Craugastor sp.1</i> (15)	111.27 (18.28)	40.4 (18.38)	70.86 (22.26)	4.46 (0.63)	40.53 (7.78)	38.53 (12.35)	21.53 (9.93)	17.66 (4.64)	3.22 (0.104)
<i>Craugastor sp.2</i> (10)	80.7 (7.97)	33.7 (5.44)	47 (5.85)	2.3 (0.48)	25.47 (5.05)	45.4 (3.75)	25 (6.16)	21.4 (4.58)	2.88 (0.06)
<i>Craugastor sp.3</i> (15)	161.73 (12.79)	70.86 (11.73)	90.86 (19.22)	3 (0.53)	16.78 (3.36)	58.67 (16.49)	39.1 (15.08)	18.53 (5.59)	3.89 (0.08)
<i>Craugastor sp.4</i> (15)	124.8 (7.83)	60.53 (7.54)	64.27 (7.03)	2.06 (0.26)	16.6 (2.88)	66.53 (4.63)	35.67 (5.96)	30.87 (4.31)	4.2 (0.12)
<i>Craugastor sp.5</i> (13)	161.53 (22.53)	72.85 (18.48)	88.69 (18.4)	4.54 (1.13)	28.26 (6.51)	42.54 (14.05)	20 (6.86)	21.77 (8.3)	5.04 (0.03)
<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i> (14)	117.2 (9.97)	10.43 (3.08)	106.78 (9.33)	7.7 (0.72)	73.53 (11.22)	9.36 (2.13)	3.71 (0.61)	5.64 (1.95)	4.26 (0.073)
<i>Agalychnis callidryas</i> , tipo 1 (30)	27.53 (5.82)	10.1 (3.9)	17.33 (4.68)	5.13 (0.93)	181.02 (20.47)	4.83 (0.91)	1.8 (0.61)	3.03 (0.72)	2.18 (0.15)
<i>Agalychnis callidryas</i> , tipo 2 (10)	134.1 (23.93)	56.1 (11.43)	78 (24.35)	8.1 (1.1)	59.93 (13.01)	11.5 (2.72)	4.8 (1.23)	6.8 (1.81)	1.95 (0.18)
<i>Agalychnis moreletii</i> (30)	50.47 (8.83)	26.5 (8.68)	24.1 (7.64)	5.5 (0.73)	113.55 (20.61)	7.76 (2.45)	3.06 (1.11)	4.7 (1.76)	1.46 (0.12)
<i>Dendropsophus ebraccatus</i> * (15)	131.27 (19.92) 36.47 (13.49)	91.53 (14.97) 13.67 (8.38)	39.07 (18.08) 31.27 (15.1)	11 (2.14) 4.13 (0.74)	83.37 (17.07) 129.53 (66.27)	9.4 (2.58)	3.47 (1.3)	5.93 (1.67)	2.94 (0.13)
<i>Tlalocohyla loquax</i> (20)	83.6 (5.04)	19.45 (3.94)	64.65 (6.61)	8.1 (0.72)	95.25 (5.48)	9.25 (1.21)	3.4 (0.88)	5.95 (0.76)	2.87 (0.06)
<i>Lithobates brownorum</i> (15)	479.6 (87.29)	401.2 (86.05)	78.4 (10.6)	9.53 (1.6)	19.05 (0.49)	25.06 (2.21)	10.13 (1.55)	14.93 (2.54)	1.01 (0.13)

* Se reportan los valores para las dos notas. El valor superior corresponde a la nota 1 y el valor inferior a la nota 2.

***Craugastor* sp. 1**

El canto es de 111.27 ms de duración, y consta de 4.46 pulsos emitidos a una tasa de 40.53 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 40.4 ms, y decae más lentamente en los siguientes 70.86 ms. Los pulsos tienen una duración de 38.53 ms. Llegan a su máxima amplitud en 21.53 ms y descienden en los 17.66 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 3.22 KHz (Cuadro 3, Figura 17).

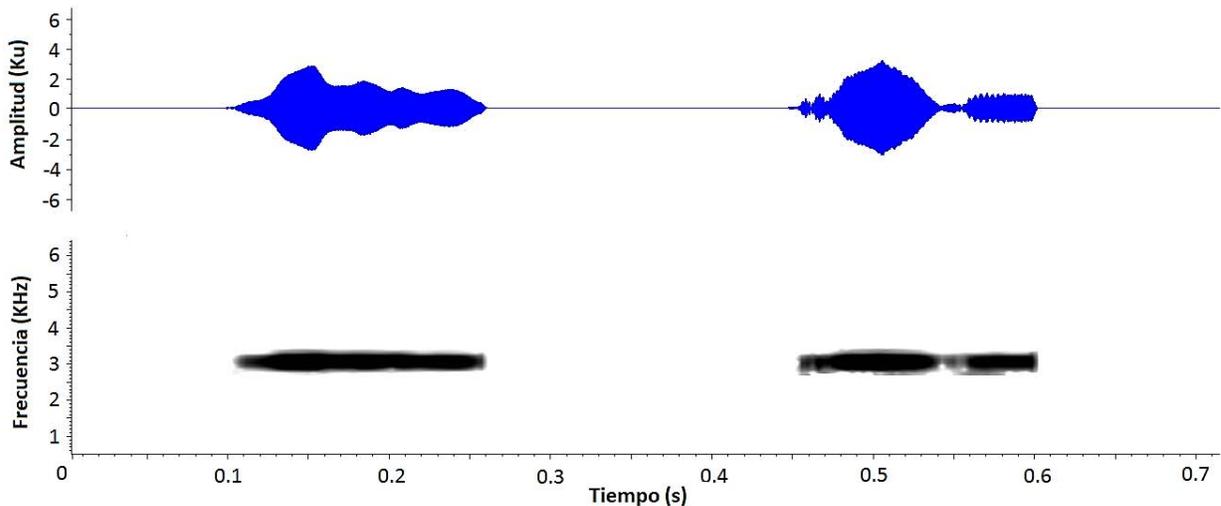


Figura 17.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Craugastor* sp. 1.

Esta especie apareció en muy pocos días dentro del muestreo, tanto así que su índice de canto siempre fue = 1 y su frecuencia de actividad cantora es casi siempre del 20%. También mostró un periodo de actividad discontinuo, con registros aislados en agosto, diciembre y mayo; en el mes de abril fue cuando mostró la mayor actividad (Figura 18).

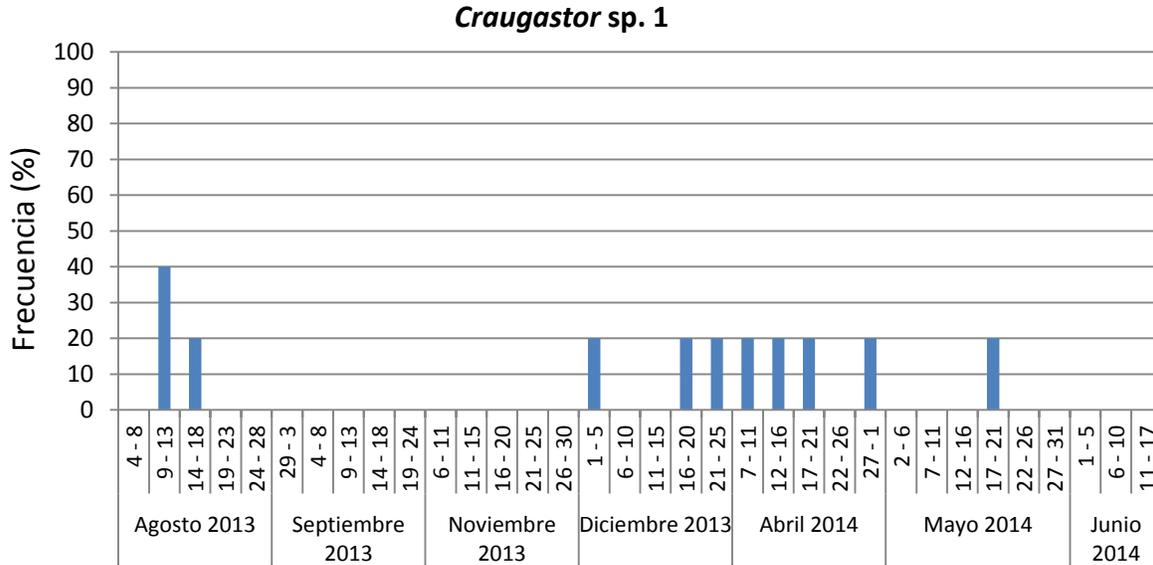


Figura 18.- Variación estacional de *Craugastor sp. 1*. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1.

Craugastor sp. 2

El canto es de 80.7 ms de duración, y consta de 2.3 pulsos emitidos a una tasa de 25.47 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 33.7 ms, y decae más lentamente en los siguientes 47 ms. Los pulsos tienen una duración de 45.4 ms. Llegan a su máxima amplitud en 25 ms y descienden en los 21.4 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 2.88 KHz (Cuadro 3, Figura 19).

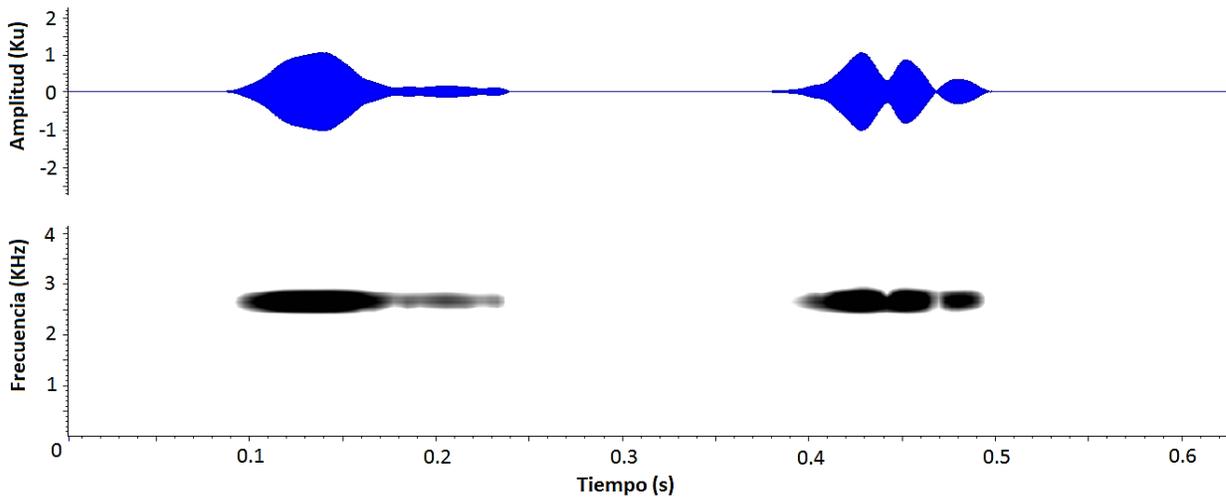


Figura 19.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Craugastor sp. 2*.

Esta especie es una de las que mayor actividad presentó, estando activa con regularidad en los meses de noviembre, diciembre, abril y mayo; teniendo en ese periodo una frecuencia de actividad de al menos 60%. Su pico de actividad parece ser al final del mes de abril y principios del mes de mayo (Figura 20).

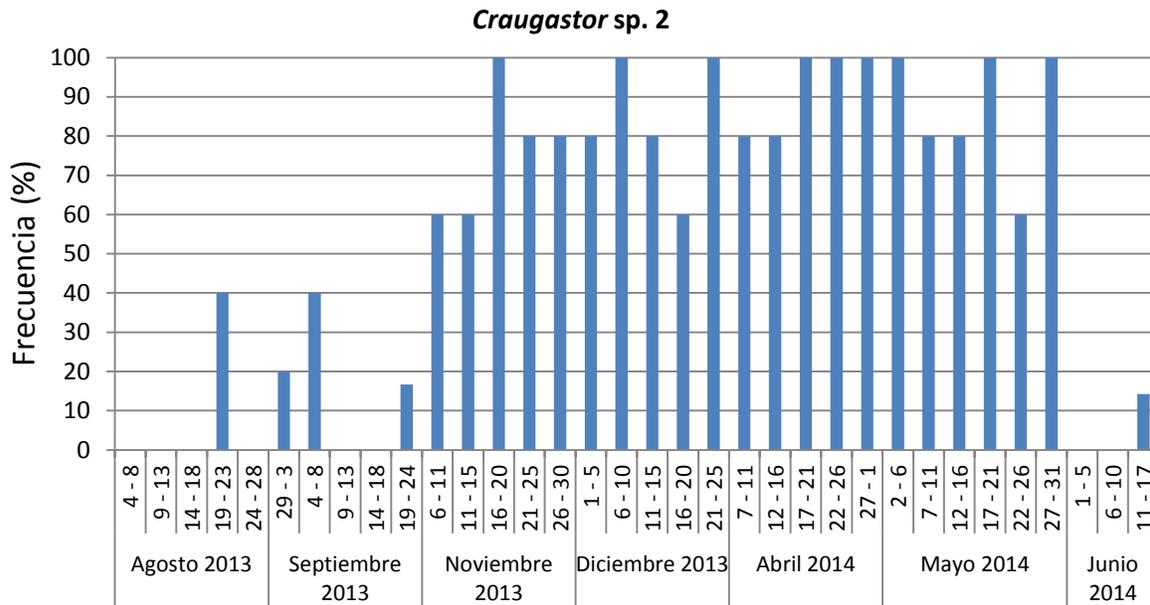


Figura 20.- Variación estacional de *Craugastor sp. 2*. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1.

Craugastor sp. 3

El canto es de 161.73 ms de duración, y consta de 3 pulsos emitidos a una tasa de 16.78 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 70.86 ms, y decae más lentamente en los siguientes 90.86 ms. Los pulsos tienen una duración de 58.67 ms. Llegan a su máxima amplitud en 39.07 ms y descienden en los 18.53 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 3.89 KHz (Cuadro 3, Figura 21).

Esta especie se encontró principalmente en los meses de abril y mayo, pero también se captaron vocalizaciones en el mes de noviembre. El número de individuos presentes fue pequeño puesto que su índice de canto siempre fue = 1 (Figura 22)

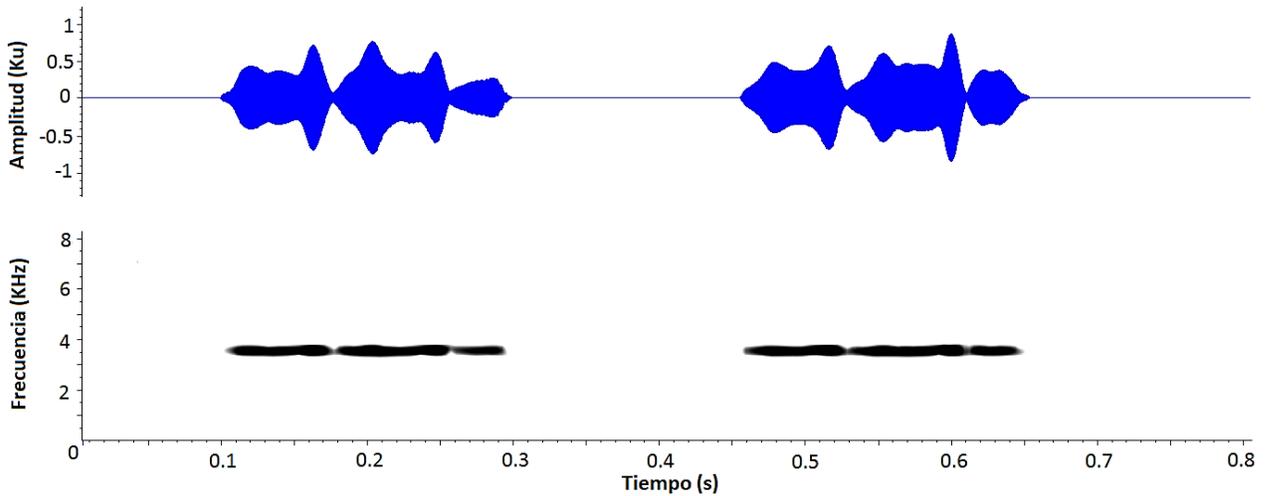


Figura 21.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Craugastor* sp.3.

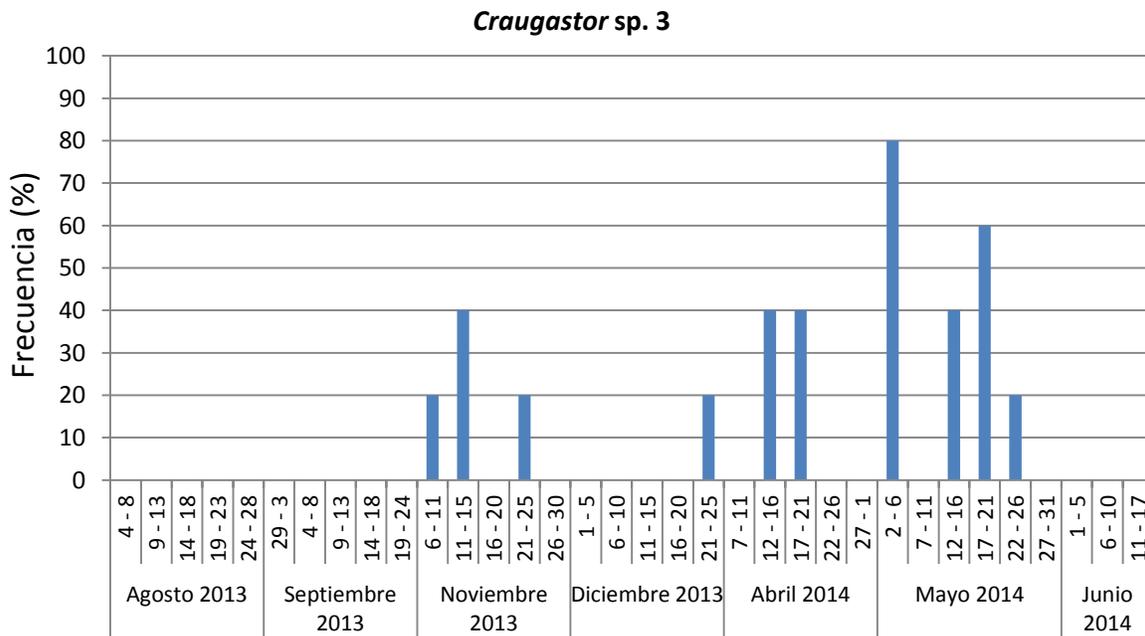


Figura 22.- Variación estacional de *Craugastor* sp. 3. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1.

***Craugastor* sp. 4**

El canto es de 124.8 ms de duración, y consta de 2.06 pulsos emitidos a una tasa de 16.6 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 60.53 ms, y decae en los siguientes 64.27 ms. Los pulsos tienen una duración de 66.53 ms. Llegan a su máxima amplitud en

35.67 ms y descienden en los 30.87 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 4.2 KHz (Cuadro 3, Figura 23).

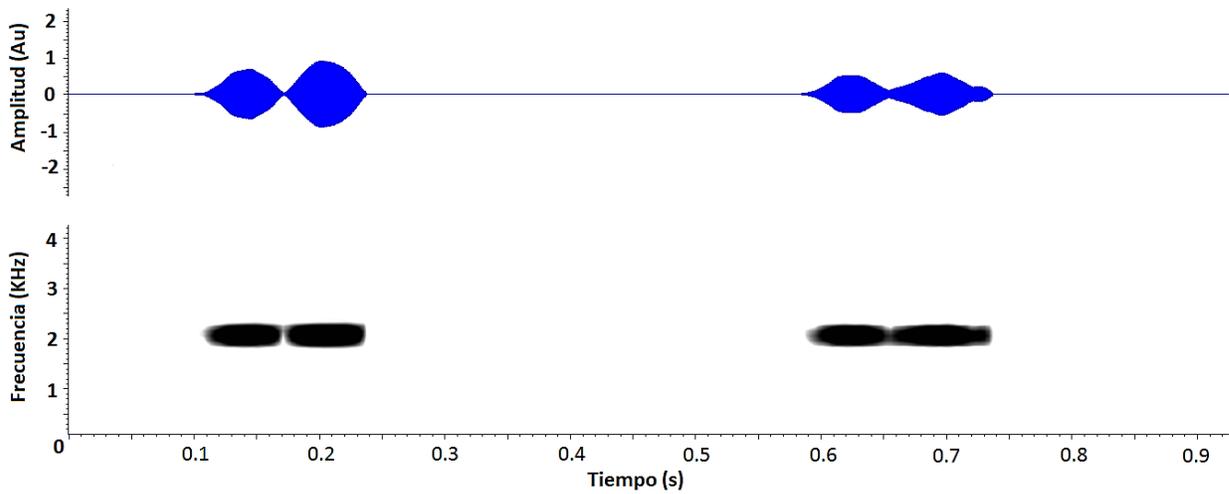


Figura 23.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Craugastor* sp. 4.

Esta especie muestra el inicio de su actividad en el mes de abril, y se extiende hasta finales de noviembre, con un pequeño periodo de inactividad a finales de junio. Estuvo presente cantando en la mayoría de los días de este periodo, a pesar de ser pocos los individuos que cantaron (índice de canto = 1) (Figura 24).

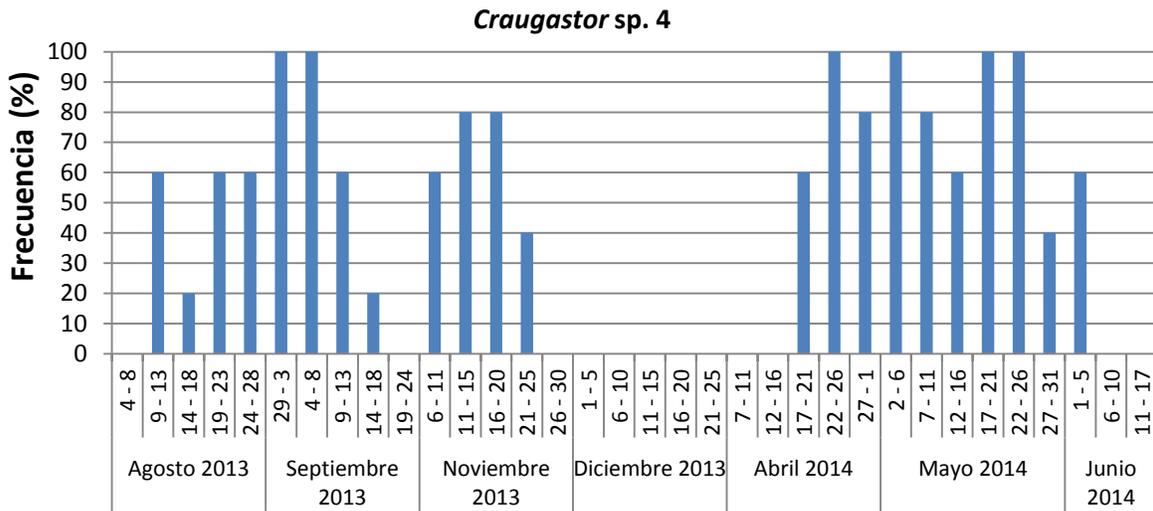


Figura 24.- Variación estacional de *Craugastor* sp. 4. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1.

***Craugastor* sp. 5**

El canto es de 161.53 ms de duración, y consta de 4.54 pulsos emitidos a una tasa de 28.26 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 72.85 ms, y decae en los siguientes 88.69 ms. Los pulsos tienen una duración de 42.54 ms. Llegan a su máxima amplitud en 20 ms y descienden en los 21.77 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 5.04 KHz (Cuadro 3, Figura 25).

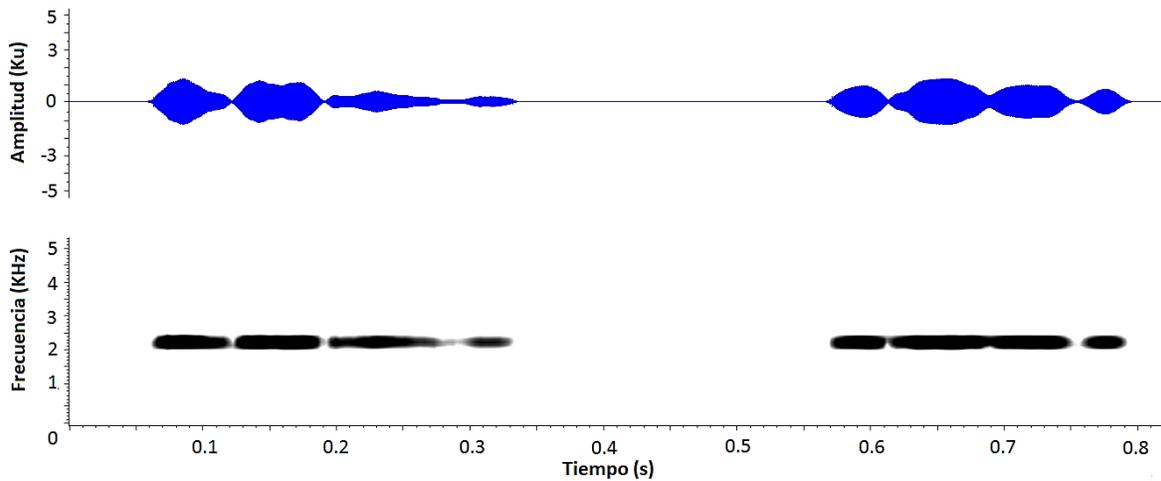


Figura 25.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Craugastor* sp. 5.

Esta especie estuvo presente en los meses de noviembre abril, mayo y junio. Fueron muy pocos los individuos que se lograron percibir, siendo su índice de canto siempre 1 (Figura 26).

Hyalinobatrachium fleischmanni

El canto es de 117.2 ms de duración, y consta de 7.7 pulsos emitidos a una tasa de 73.53 pulsos/s. El canto llega rápidamente a su máxima amplitud en 10.43 ms, y decae muy lentamente en los siguientes 106.78 ms. Los pulsos tienen una duración corta de 9.36 ms. Llegan a su máxima amplitud en 3.71 ms y descienden en los 5.64 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 4.26 KHz (Cuadro 3, Figura 27). Esta especie fue grabada personalmente, por lo que no se tienen datos para analizar su variación estacional.

***Craugastor* sp. 5**

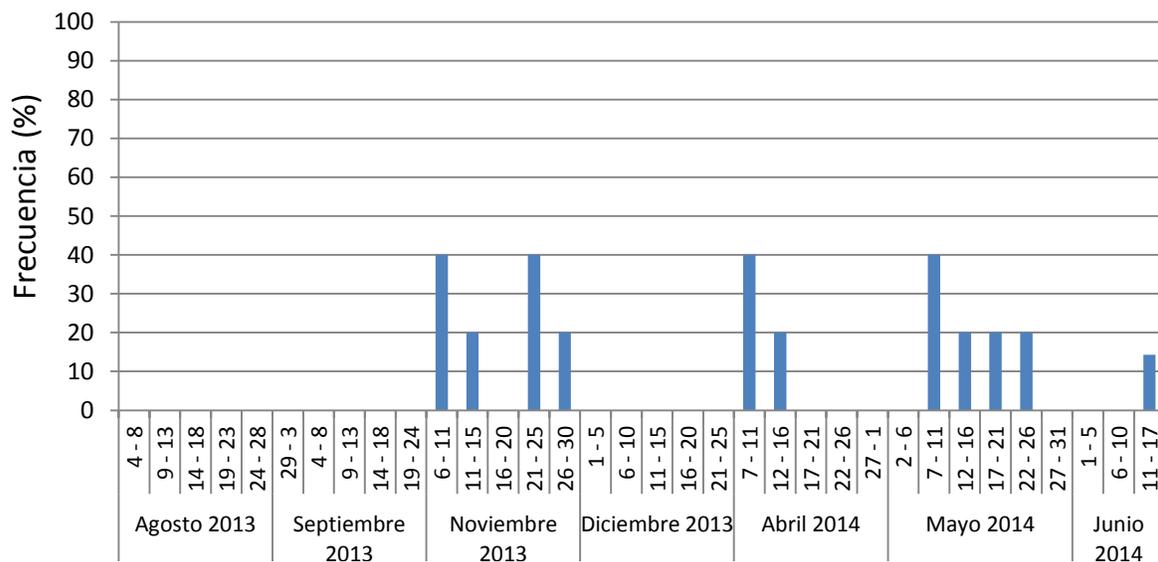


Figura 26.- Variación estacional de *Craugastor* sp. 5. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1.

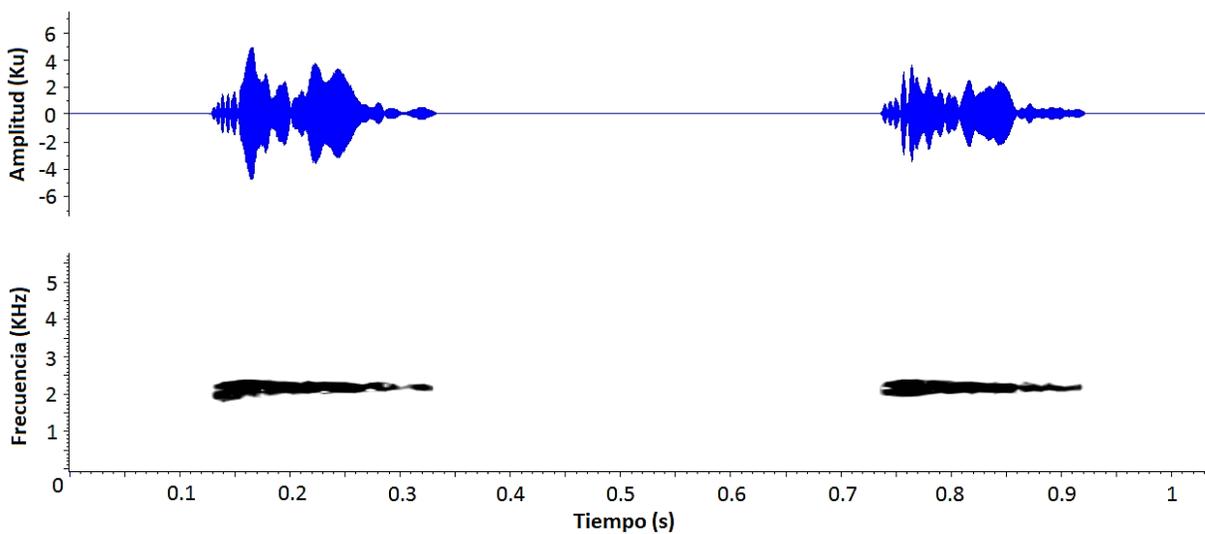


Figura 27.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Hyalinobatrachium fleischmanni*.

Agalychnis callidryas

El canto de anuncio es corto, con una duración de 27.53 ms, y consta de 5.13 pulsos emitidos a una alta tasa de 181.02 pulsos/s. El canto llega rápidamente a su máxima amplitud en 10.1 ms, y decae en los siguientes 17.33 ms. Los pulsos tienen una duración de 4.83 ms. Llegan a su máxima amplitud muy rápidamente en 1.8 ms y descienden en los 3.03 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 2.18 KHz (Cuadro 3, Figura 28).

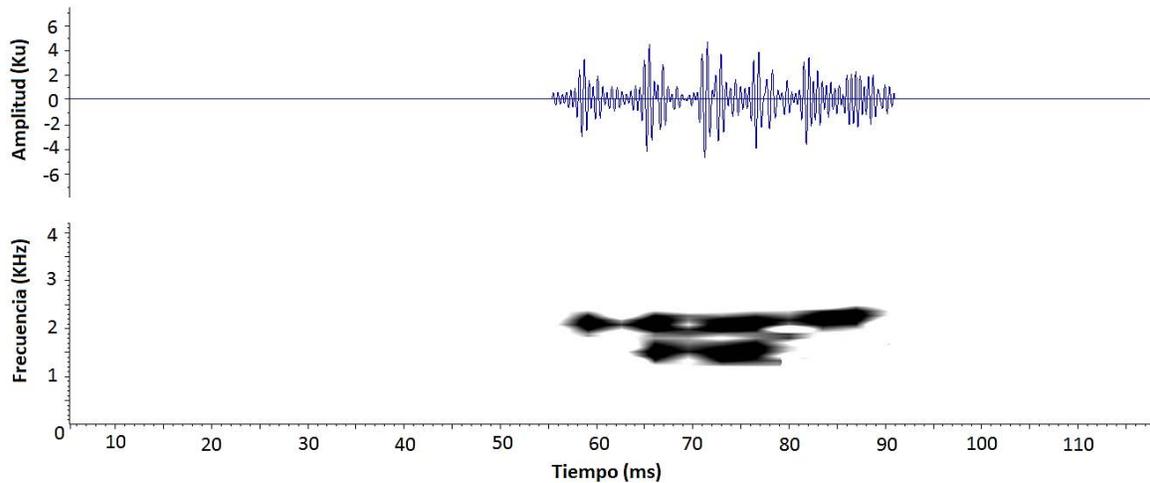


Figura 28.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *A. callidryas*.

El segundo tipo de canto analizado es mucho más largo; de 134.1 ms de duración, y consta de 8.1 pulsos emitidos a una tasa de 59.93 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 56.1 ms, y decae en los siguientes 78 ms. Los pulsos tienen una duración de 11.5 ms. Llegan a su máxima amplitud en 4.8 ms y descienden en los 6.8 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 1.95 KHz (Cuadro 3, Figura 29).

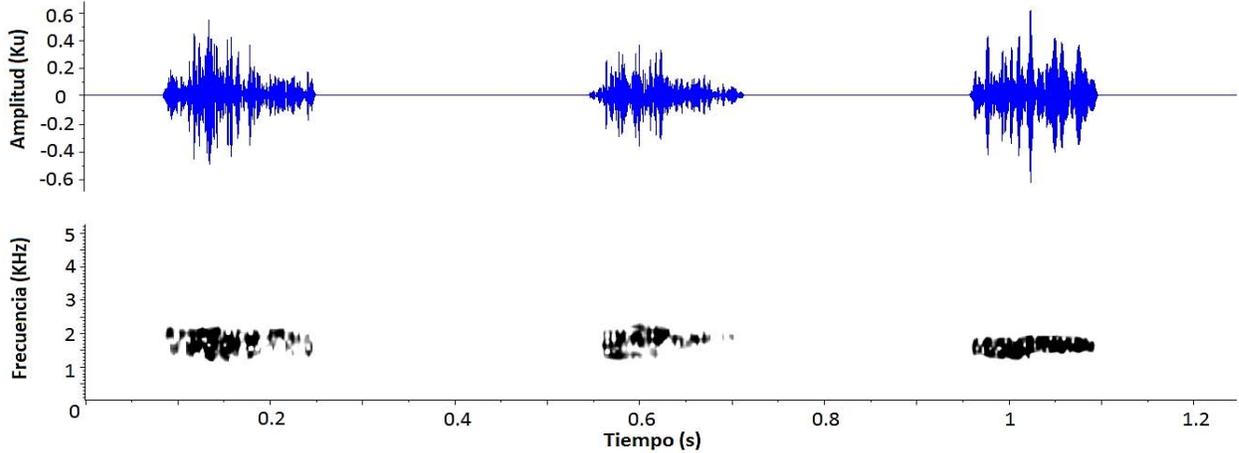


Figura 29.- Espectrograma y oscilograma del segundo tipo de canto registrado para *A. callidryas*.

Esta fue la especie que apareció en la mayor proporción dentro del muestreo. Se encontró activa en prácticamente todo el tiempo salvo finales de diciembre y casi todo el mes de abril. A su vez, en el sitio de grabación se presentó el coro total de cantos, lo que se ve reflejado en la proporción de registros que obtuvieron índices de canto = 2 o 3 (Figura 30)

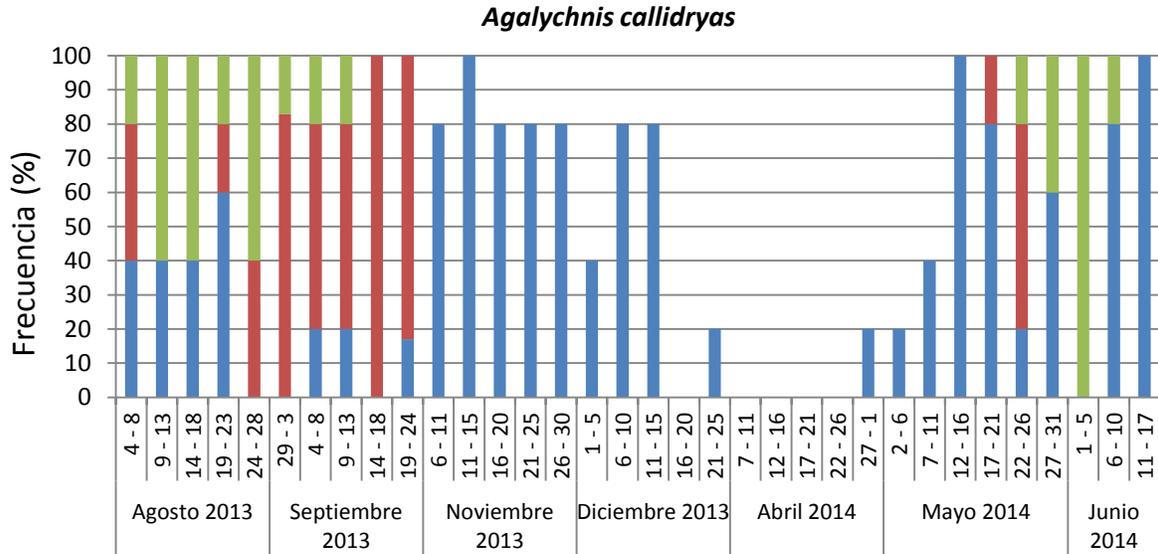


Figura 30.- Variación estacional de *Agalychnis callidryas*. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1, las barras rojas representan un índice = 2 y las barras verdes representan un índice = 3.

Agalychnis moreletii

El canto es de 50.47 ms de duración, y consta de 5.5 pulsos emitidos a una tasa de 113.55 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 26.5 ms, y decae en los siguientes 24.1 ms. Los pulsos tienen una duración corta de 7.76 ms. Llegan a su máxima amplitud en 3.06 ms y descienden en los 4.7 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 1.46 KHz (Cuadro 3, Figura 31).

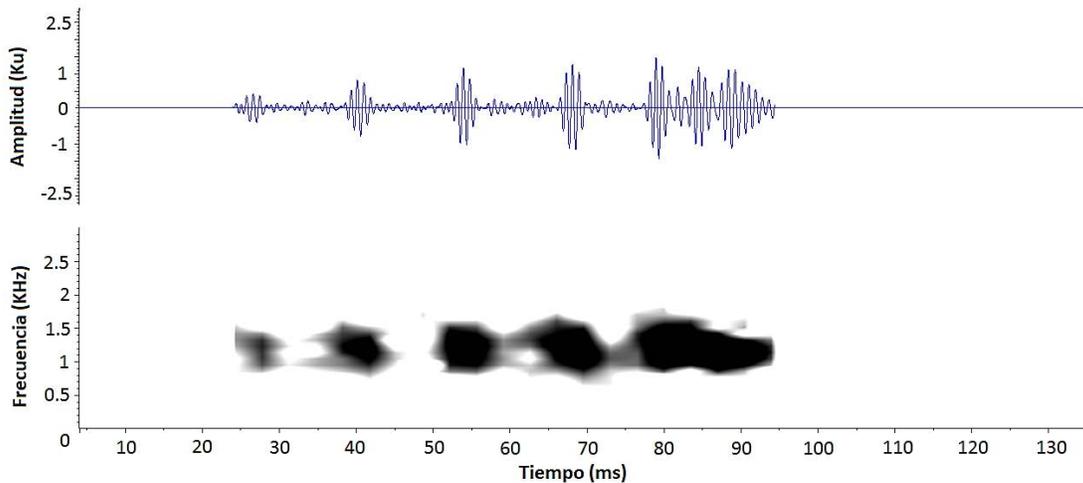


Figura 31.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Agalychnis moreletii*.

Esta especie fue captada casi a lo largo de todo el año. El inicio de su actividad es en la última semana de abril, y ésta se prolonga hasta finales de diciembre. Al igual que con *A. callidryas*, el SGA captó cantos con múltiples individuos, sobre todo en los meses de junio, agosto y septiembre (Figura 32).

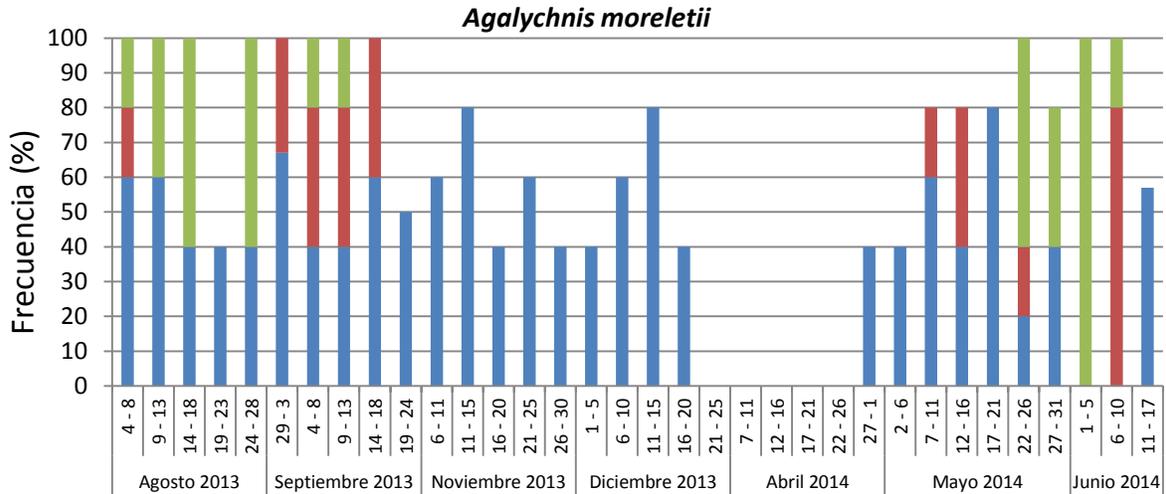


Figura 32.- Variación estacional de *Agalychnis moreletii*. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1, las barras rojas representan un índice = 2 y las barras verdes representan un índice = 3.

Dendropsophus ebraccatus

El canto de esta especie se compone de dos notas muy claras, se paradas por 125.06 ms. Frecuentemente emiten sólo la primera nota durante el coro nocturno. La duración de la primera nota es de 131.27 ms de duración, y consta de 11 pulsos emitidos a una tasa de 83.37 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 91.53 ms, y decae en los siguientes 39.07 ms. Los pulsos tienen una duración corta de 9.4 ms. Llegan a su máxima amplitud en 3.475.93 ms y descienden en los 4.7 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 2.94 KHz.

La segunda nota es mucho más corta, con 36.47 ms de duración, y consta de 4.13 pulsos emitidos a una tasa de 129.53 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 13.67 ms, y decae en los siguientes 31.27 ms. El pulso de mayor amplitud de la vocalización se encontró en la primer nota (Cuadro 3, Figura 33).

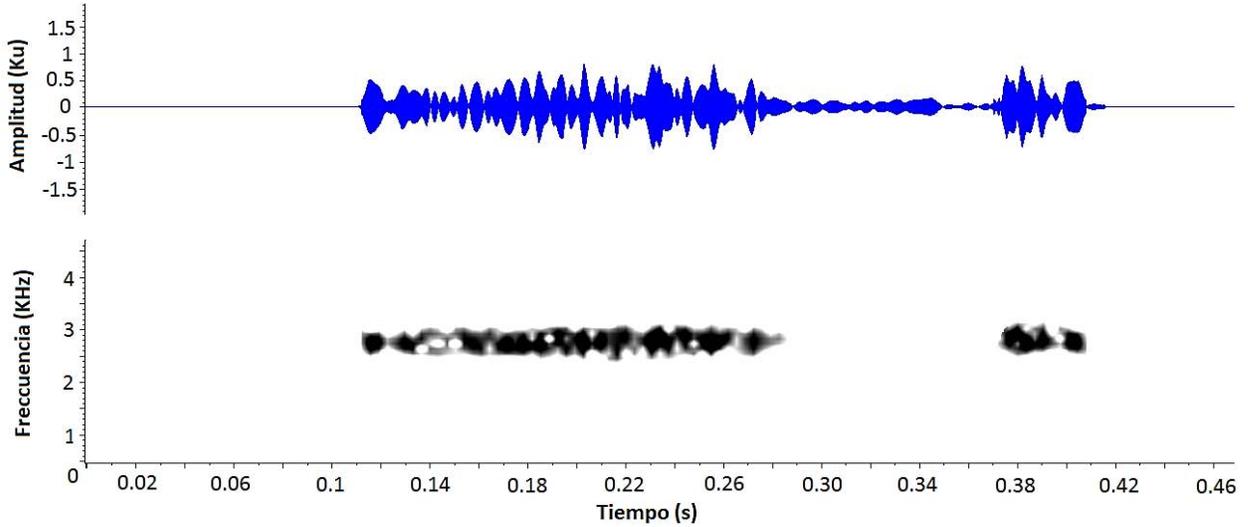


Figura 33.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Dendropsophus ebraccatus*.

Esta especie mostró actividad principalmente en los meses de junio, agosto y septiembre, siendo en este último mes el pico de su actividad, puesto que la mayor parte de los registros obtuvieron un índice de cantos = 3. (Figura 34).

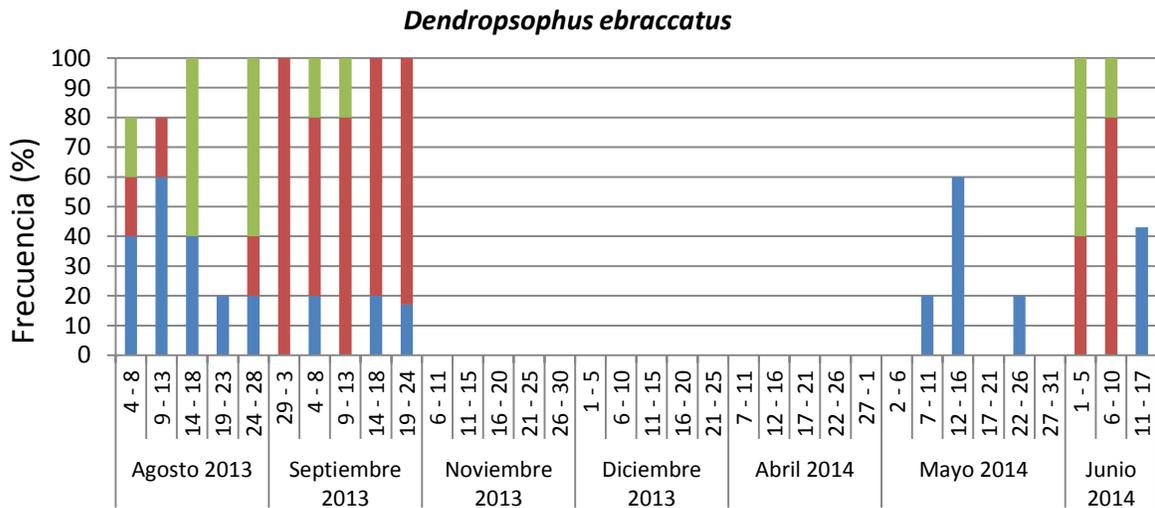


Figura 34.- Variación estacional de *Dendropsophus ebraccatus*. En el eje de las Y se muestra la frecuencia de actividad cantora y en el eje de las X se muestran unidades temporales de 5 días. Las barras azules representan un índice de canto = 1, las barras rojas representan un índice = 2 y las barras verdes representan un índice = 3.

Tlalocohyla loquax

El canto es de 83.6 ms de duración, y consta de 8.1 pulsos emitidos a una tasa de 95.25 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 19.45 ms, y decae lentamente en los siguientes 64.65 ms. Los pulsos tienen una duración corta de 9.25 ms. Llegan a su máxima amplitud en 3.4 ms y descienden en los 5.95 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 2.87 KHz (Cuadro 3, Figura 35). Esta especie fue grabada directamente, por lo que no se tienen datos para analizar su variación estacional.

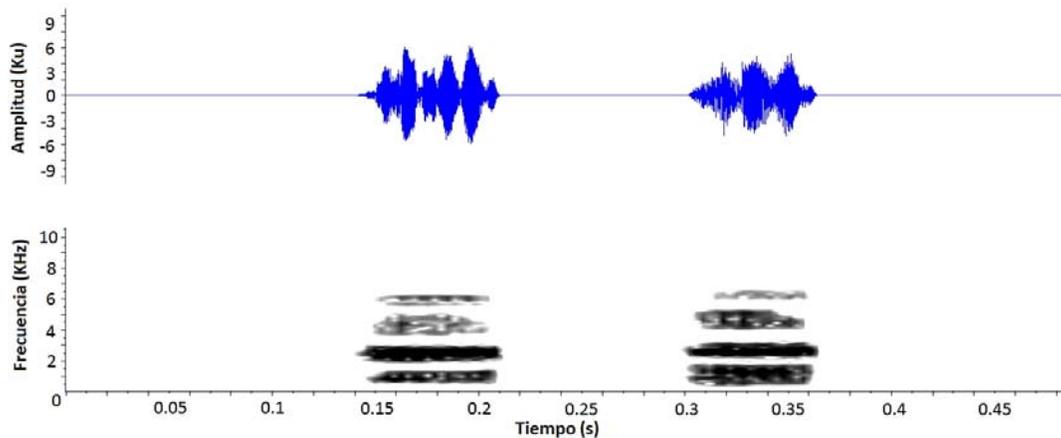


Figura 35.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Tlalocohyla loquax*.

Lithobates brownorum

El canto es muy largo, de 479.6 ms de duración, y consta de 9.53 pulsos emitidos a una tasa de 19.05 pulsos/s. El canto llega a su máxima amplitud en 401.2 ms, y decae muy rápidamente en los siguientes 78.4 ms. Los pulsos tienen una duración de 25.06 ms. Llegan a su máxima amplitud en 10.13 ms y descienden en los 14.93 ms restantes. La frecuencia máxima de la vocalización es de 1.01 KHz (Cuadro 3, Figura 36). Esta especie fue grabada personalmente, por lo que no se tienen datos para analizar su variación estacional.

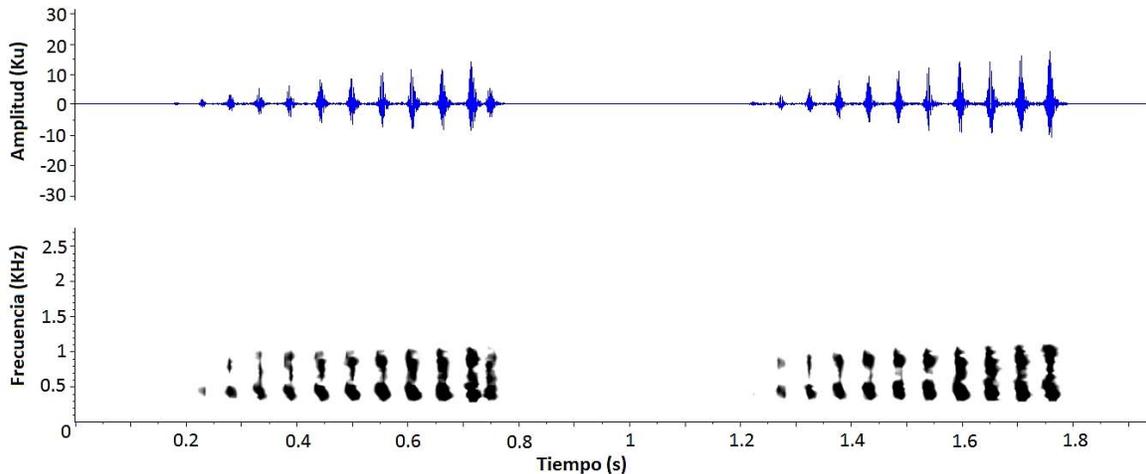


Figura 36.- Espectrograma y oscilograma del canto de anuncio de *Lithobates brownorum*.

DISCUSIÓN

El análisis de las vocalizaciones reveló ciertas tendencias generales: las características que mayor variación mostraron fueron los atributos dinámicos (duración de la vocalización, de los pulsos y tasa de emisión de pulsos), mientras que el rasgo que se mantuvo más constante dentro de las especies fue la frecuencia máxima. Esta tendencia concuerda con lo que se ha encontrado en *A. moreletii* (Briggs, 2010); sin embargo, Briggs menciona que el número de pulsos es también de las características con mayor variación, y en este estudio se encontró que el número de pulsos es el segundo atributo con menor variación, después de la frecuencia máxima. Se cree que, dado que el canto representa un gasto energético elevado para los organismos (Serrano, 2009; Wells, 2010), las características dinámicas de los cantos están limitadas por restricciones energéticas (Briggs, 2010; Smith & Hunter, 2005) y así se da esta mayor variación con respecto a las características estáticas como la frecuencia, que están más influenciadas por el tamaño corporal (Castellano et al., 2002). Se han registrado con anterioridad las características generales, en cuanto a duración y frecuencia, de los cantos de anuncio de *A. callidryas*, *A. moreletti*, *D. ebraccatus*, *H. fleischmanni* y *T. loquax* (Briggs, 2008, 2010; Duellman, 1967, 2001; Ohmer, Robertson, & Zamudio, 2009; Sarmiento-Rojas, 2014; Savage, 2002). Los valores

que citan estos trabajos difieren en cierta medida con los que se presentan aquí, situación esperada puesto que la mayoría de estos trabajos previos utilizaron individuos de países centroamericanos (sólo la descripción del canto de *H. fleischmanni* es del estado de Veracruz), y es común que exista variación geográfica en el canto de los anuros (Pröhl et al., 2006). También, se han descrito los cantos de varias especies de *Craugastor*, *Lithobates* y otros hílidos (Capranica, 1968; Duellman, 2001; Ibáñez, Jaramillo, & Solís, 2012; Márquez et al., 1993; Martins & Jim, 2003; Rorabaugh & Lang, 2006; Salazar-Zúñiga & García-Rodríguez, 2014; Sarmiento-Rojas, 2014). Streicher et al., (2014) describieron el canto de *C. occidentalis*, una especie del complejo de *C. rhodopis*, pero no lo hicieron para *C. loki*. Naturalmente se requiere un análisis de las vocalizaciones descritas utilizando una muestra mayor. Sin embargo, las descripciones de los cantos presentadas aquí, así como los espectrogramas generados, pueden representar un aporte valioso para estudios a futuro; puesto que este tipo de datos proveen información filogenética, facilitan la identificación de especies y son útiles para la realización de muestreos no invasivos (Wen et al., 2012).

Las vocalizaciones de las especies del género *Craugastor* presentaron una dificultad considerable de identificación. En la revisión exploratoria de las grabaciones las vocalizaciones resultaron ser muy parecidas (todas consisten en una sola nota de larga duración emitida entre 3 y 5 KHz); su variación principal se dio en la frecuencia y, por consiguiente, en el tono. Existe la posibilidad de que algunas sean vocalizaciones de la misma especie, sin embargo, la mayoría de las veces se detectaba sólo un tipo de vocalización; y cuando se detectaban dos o más tipos de cantos juntos, esta disposición cambiaba posteriormente en el muestreo. Al no encontrarse vocalizaciones asociadas permanentemente entre sí, se decidió considerarlas como especies diferentes. Se consideró pertinente realizar un análisis más a fondo una vez que se obtuvieron las mediciones de los cantos. Los resultados del PCA y la gráfica de dispersión muestran la separación de *Craugastor* sp. 1, *C. sp. 2*, *C. sp. 3* y *C. sp. 4*. Sin embargo, *Craugastor* sp. 5 presenta un solapamiento de características con *C. sp. 1* y *C. sp. 2*; esto puede deberse al hecho de que, aunque las características acústicas de diferentes especies generalmente

difieren en sus medias, la distribución de estas propiedades se sobrelapan frecuentemente (Wollerman y Wiley, 2002b). El caso de *Craugastor loki* es distinto; se identificó con mayor confianza que la otras cinco especies, pero el sobrelape que se muestra en la gráfica de dispersión es casi total con *C. sp. 1*, *C. sp. 3* y *C. sp. 5*. Streicher et al. (2014) mencionan que varias especies dentro del complejo *C. loki* presentan un sobrelape considerable en la variación de características morfológicas como el patrón de color, la forma de las glándulas y la densidad de tubérculos; lo cual puede sugerir que un sobrelape similar existe en el canto. También existe la posibilidad de que esta similitud sea el resultado de un proceso adaptativo para evitar la depredación, ya que se ha encontrado evidencia de que la sincronización del canto y un mayor número de individuos vocalizando reducen el riesgo individual de depredación (Jennions & Backwell, 1992; Tuttle & Ryan, 1982). La gran similitud de los cantos de estas especies podría, en dado caso, representar un problema de identificación también para los propios organismos. Se ha documentado la posibilidad de error en la comunicación de los anuros, provocado por el ruido de fondo del coro de especies (Wollerman & Wiley, 2002a) o por el sobrelape de las características de los cantos (Wollerman & Wiley, 2002b). Se considera importante una posterior verificación y análisis del canto de estas especies con una muestra mayor, así como una verificación física con los ejemplares para ayudar a esclarecer estas diferencias entre las vocalizaciones y para determinar con mayor certeza si efectivamente se trata de cinco especies diferentes.

La alta sensibilidad de los anuros ante las variables ambientales permite que el estudio de la estacionalidad de estos animales pueda utilizarse como un índice confiable de la respuesta de los organismos al ambiente (Gibbs & Breisch, 2001). Se observó que las tres especies con desarrollo de larva acuática, *A. callidryas*, *A. moreletii* y *D. ebraccatus*, comienzan a vocalizar casi al mismo tiempo entre abril y mayo, mientras que las especies del género *Craugastor* comenzaron su actividad unas semanas antes, al inicio de abril. Esta diferenciación en la distribución temporal se ha atribuido a las condiciones climáticas y las diferentes estrategias reproductivas utilizadas por los anuros (Abrunhosa, Wogel, & Pombal Jr, 2006). Se ha encontrado que las ranas de desarrollo directo, como las del

género *Craugastor*, comienzan su temporada reproductiva justo al inicio de las lluvias para aprovechar de mejor manera la humedad (Gottsberger & Gruber, 2004). Otro factor que también determina este fenómeno es la interacción biótica (Vasconcelos et al., 2011); comenzar la temporada de reproducción en momentos distintos significa una reducción en la competencia por recursos y un posible desvío de atención de los depredadores. Todas las especies en este estudio alcanzan su pico de actividad durante los que son los meses más calurosos del año: mayo y junio (CONANP, 2006).

Tres especies de *Craugastor*, *C. sp. 1*, *C. sp. 3* y *C. sp. 5*, muestran un poco de actividad en diciembre, mientras que *C. loki* solo estuvo activa durante abril y mayo. *C. sp. 2* está activa en gran parte del año; particularmente durante todo el mes de diciembre y en una mayor frecuencia temporal que *A. callidryas* y *A. moreletii*. Este patrón de actividad es parecido al presentado por *C. noblei*, que canta entre noviembre y enero (Salazar-Zúñiga & García-Rodríguez, 2014). *C. sp. 4* también vocaliza durante gran parte del año, sin mostrar actividad en los meses más fríos. Ninguna de las especies de *Craugastor* (salvo *C. loki* en la segunda semana de mayo de 2014), sobrepasó el valor de 1 en el índice de cantos, lo que puede indicar que estas ranas cantan individualmente o en grupos muy pequeños. Sarmiento-Rojas (2014) encontró que los individuos de *C. decoratus* no se congregan en coros, al igual que la mayoría de los individuos de *C. rhodopis*; y quienes sí lo hacen se reúnen en grupos de, máximo, cinco individuos. Los individuos de *C. loki*, *C. sp. 1*, *C. sp. 3* y *C. sp. 5* vocalizaron en una frecuencia temporal muy baja dentro del año. Esto puede deberse a la estrategia de reproducción particular que presenta este grupo de ranas, que utilizan las vocalizaciones en menor medida que otro tipo de anuros, tanto así que se piensa que varias de estas especies no producen cantos. Sin embargo en los últimos años se han estado describiendo las vocalizaciones de ciertas especies que se creía no producen cantos (Ibáñez et al., 2012; Salazar-Zúñiga & García-Rodríguez, 2014).

D. ebraccatus muestra un periodo de actividad que parece estar determinado en mayor medida por la temperatura, puesto que no muestra actividad en los meses de noviembre y diciembre y, muy probablemente, en enero, que son los meses más fríos.

Sarmiento-Rojas (2014) comenta que *H. fleischmanni* mantuvo una actividad constante durante los meses de junio a octubre, lo que podría indicar un patrón de actividad similar al de los anuros con desarrollo de larva acuática de este estudio. Además de estar presentes en casi todo el año de muestreo, *D. ebraccatus*, *A. callidryas* y *A. moreletii* presentaron una alta densidad de individuos vocalizando, presentando índices de canto mayores a uno en gran parte del año, principalmente durante la temporada de lluvias; en los meses de noviembre y diciembre no se formaron coros. Gibbs y Breisch, (2001) mencionan que debido al cambio climático ciertas poblaciones del norte de Estados Unidos han empezado a modificar su periodo de actividad, empezando a cantar casi dos semanas antes. En Nahá el fenómeno que se observó es que especies como *A. callidryas* y *A. moreletii*, vocalizaron todavía hasta finales de diciembre. Esto llevaría a pensar que han cambiado las condiciones climáticas en la zona. Los datos que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2015) revelaron que el mes de octubre de 2013 fue el segundo octubre más caluroso de la última década en Chiapas; mientras que los meses de noviembre y diciembre de ese año ocuparon el primer y cuarto lugar respectivamente en cuanto a altas temperaturas en ese periodo de tiempo. Sin embargo, lo que parece contribuir más a la duración de la temporada reproductiva de los anuros tropicales es la precipitación (Abrunhosa et al., 2006; Bevier, 1997). En la última década el promedio de precipitación en los meses de noviembre y diciembre ha sido de 80 y 56.5 mm respectivamente, pero en 2013 la precipitación fue de 193.2 y 157.8 mm. A esto se suma el hecho de que el mes en el que no mostraron actividad fue abril, que es uno de los dos más secos del año en Nahá (CONANP, 2006). El alargamiento de la temporada reproductiva que están presentando estas especies puede traer consecuencias negativas para la sobrevivencia de los individuos, puesto que cambios en la fenología reproductiva pueden alterar la dinámica entre las comunidades y dar pie a nuevas interacciones de competencia y depredación (Walls, Barichivich, & Brown, 2013); y la competencia por recursos limitados puede afectar el crecimiento de los individuos (Gonzalez, Touchon, & Vonesh, 2011). El mayor tamaño y las condiciones ambientales a su vez determinan la adecuación de los individuos previa a la metamorfosis y en el tiempo inmediato a ésta

(Van Allen, Briggs, McCoy, & Vonesh, 2010). Se ha documentado que los organismos de *A. callidryas* presentan una gran pérdida de masa corporal en las seis semanas posteriores a la metamorfosis, y los individuos de menor tamaño tienen menor probabilidad de sobrevivir a este proceso (Tarvin et al., 2015). El aumento progresivo de la temperatura también provocará cambios en la composición y en la diversidad de las comunidades de anuros (Ochoa-Ochoa et al., 2012), en su distribución (García, et al. 2013) e incluso en la vocalización de las especies. Ciertos estudios han demostrado la relación entre la temperatura y las variables temporales del canto de los anuros (Valetti et al., 2013). Un estudio realizado con *Eleutherodactylus coqui* demuestra que el cambio climático ha ocasionado el aumento en el tono y la disminución de la duración de las vocalizaciones de esta especie (Narins & Meenderink, 2014). Estudios que proveen información sobre la variación estacional pueden ayudar a entender algunas de las adecuaciones conductuales a las que recurran las especies ante estos problemas asociados al cambio climático. Este trabajo aporta información valiosa en ese sentido, sin embargo, la disposición limitada de recursos impidió que se les diera una revisión más constante a las grabadoras en el campo, lo que habría proporcionado más datos sobre los patrones de actividad de las especies muestreadas.

Aunque mayor cantidad de especies son encontradas en monitoreos tradicionales, el uso de sistemas de grabación automática también recoge un número considerable de especies, en ocasiones apenas menor que el de un muestreo tradicional (Hsu et al., 2005). En este estudio se detectaron 12 especies de anuros, que representan el 43% de las especies encontradas en un muestreo realizado durante 2009 y 2010 por Ochoa-Ochoa & Whitaker (2014). Considero que la probabilidad de detección de especies con SGA puede variar dependiendo de las características fisiográficas de la localidad, de la cantidad de equipos y su colocación, de la propia composición de la comunidad de anuros y de la época de mayor actividad, que en este caso es de mayo a julio.

Los monitoreos que hacen uso de grabaciones obtenidas por SGA representan un gasto mucho menor que los monitoreos tradicionales en cuanto a recursos económicos y humanos (Tubaro, 1999), y brindan la posibilidad de obtener información en un mayor

rango de lugares y/o condiciones climáticas (Bridges & Dorcas, 2000). Es debido a ello que monitoreos de este tipo permiten obtener una gran cantidad de información de calidad sin mucha dificultad. Sin embargo, hay que destacar que el tiempo y esfuerzo requerido para el análisis de esa información también es muy elevado. Para este estudio, analizar datos de un año de grabaciones requirió aproximadamente 10 meses de trabajo. Aspectos como el ruido de fondo y la calidad de las grabaciones deben ser tomados en cuenta, ya que pueden representar un problema serio para el análisis de las grabaciones, incluso llegando a hacerlas inservibles. Estos aspectos fueron los que imposibilitaron obtener una *N* amplia de cantos para las mediciones de los cantos, la cual brindaría mayor confianza a los resultados.

Otra cuestión a considerar es la correcta identificación de los cantos, para la que se requiere cierto grado de conocimiento de las vocalizaciones de las especies. Una opción interesante para solucionar estos inconvenientes es la utilización de software de reconocimiento automatizado de cantos, que permite analizar una gran cantidad de información en poco tiempo (Waddle et al., 2009). Sin embargo, ya sea utilizando software o revisando personalmente la información, para la correcta identificación de las especies resulta necesario poseer un catálogo confiable de los cantos de las especies y así utilizar los parámetros sonoros y espectrales como guía (Caycedo-Rosales et al., 2013; Waddle et al., 2009). Estos catálogos existen en forma de colecciones científicas y bibliotecas de cantos; sin embargo la mayoría están especializadas en cantos de aves (Ranft, 1997). Bibliotecas de sonidos de Estados Unidos y Europa poseen un acervo grande de cantos de anuros siendo las más importantes en este sentido la colección de la Fonoteca Zoológica en Madrid y la librería de sonidos Macaulay, de la universidad de Cornell. En México, la biblioteca de sonidos de aves del INECOL posee grabaciones de algunas especies de anuros. Éstas y otras colecciones poseen registros de anuros mexicanos, sin embargo hacen falta datos de muchas especies. Es debido a esto que considero muy necesaria la creación de una biblioteca de cantos especializada en anfibios mexicanos. La formación de una biblioteca científica de sonidos requiere cumplir ciertos requisitos tales como tener un planeamiento a largo plazo, tener la infraestructura y el

equipo necesario para almacenar y ampliar la colección, la organización sistemática de los archivos, contratar a un curador y ofrecer facilidad de acceso a la información a los científicos y aficionados interesados (Ranft, 1997). Trabajos como este estudio, que brinden información de identificación de especies y catálogos de un amplio número de grabaciones, pueden sentar una base sólida para la creación de tal colección.

CONCLUSIONES

- Con base en las grabaciones obtenidas con un sistema de grabación automática, se identificaron 12 especies: *Craugastor loki*, *C. sp. 1*, *C. sp.2*, *C. sp.3*, *C. sp.4*, *C. sp. 5*, *Hyalinobatrachium fleischmanni*, *Agalychnis callidryas*, *A. moreletii*, *Dendropsophus ebraccatus*, *Tlalocohyla loquax* y *Lithobates brownorum*.
- Se obtuvieron los espectrogramas de cada una de las especies y se obtuvieron las mediciones de 8 características temporales y una característica espectral de los cantos.
- Se determinó la variación estacional de las especies. Se observó que el pico de actividad en las especies es en los meses de mayo y junio. Al estar relacionada la temperatura y precipitación con la actividad cantora, durante los meses invernales (noviembre a marzo) la actividad fue muy reducida en su mayoría. *A. callidryas*, *A. moreletii* y *C. sp. 2* están activas en la mayor parte del año.
- Se obtuvieron 370 horas de grabación dentro de las que se encuentran registros y datos importantes que sientan las bases para construir la primera biblioteca de sonidos de anuros en México.

LITERATURA CITADA

- Abrunhosa, P. A., Wogel, H., & Pombal Jr, J. P. (2006). Anuran temporal occupancy in a temporary pond from the atlantic rain forest, south-eastern Brazil. *Herpetological Journal*, 16(2), 115–122.
- Baptista, L. F., & Gaunt, S. L. L. (1994). Advances in studies of avian sound communication. *Condor*, 96, 817–830.
- Bee, M. A., Cook, J. M., Love, E. K., O'Bryan, L. R., Pettitt, B. A., Schrode, K., & Vélez, A. (2010). Assessing Acoustic Signal Variability and the Potential for Sexual Selection and Social Recognition in Boreal Chorus Frogs (*Pseudacris maculata*). *Ethology*, 116(6), 564–576.
- Bee, M. A., Suyesh, R., & Biju, S. D. (2013). The vocal repertoire of *Pseudophilautus kani*, a shrub frog (Anura: Rhacophoridae) from the Western Ghats of India. *Bioacoustics*, 22(1), 67–85.
- Bevier, C. R. (1997). Breeding activity and chorus tenure of two neotropical hylid frogs. *Herpetologica*, 53(3), 297–311.
- Bosch, R. A. (2013). Progresos en el estudio de las vocalizaciones de anfibios cubanos. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 2(3), 4–13.
- Bridges, A. S., & Dorcas, M. E. (2000). Temporal Variation in Anuran Calling Behavior: Implications for Surveys and Monitoring Programs. *Copeia*, 2000(2), 587–592.
- Briggs, V. S. (2008). Mating patterns of red-eyed treefrogs, *Agalychnis callidryas* and *A. moreletii*. *Ethology*, 114(5), 489–498.
- Briggs, V. S. (2010). Call Trait Variation in Morelett's Tree Frog, *Agalychnis moreletii*, of Belize. *Herpetologica*, 66(3), 241–249.
- Buzzetti, F. M., & Barrientos-Lozano, L. (2011). Bioacoustics of Some Mexican Orthoptera (Insecta: Orthoptera: Ensifera, Caelifera). *Bioacoustics*, 20(2), 193–213.
- Candolin, U. (2003). The use of multiple cues in mate choice. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 78(4), 575–595.
- Capranica, R. R. (1968). The vocal repertoire of the bullfrog (*Rana catesbeiana*). *Behaviour*, 31(3), 302–3024.

- Castellano, S., Cuatto, B., Rinella, R., Rosso, A., & Giacoma, C. (2002). The advertisement call of the European treefrogs (*Hyla arborea*): A multilevel study of variation. *Ethology*, *108*(1), 75–89.
- Caycedo-Rosales, P. C., Ruiz-Muñoz, J. F., & Orozco-Alzate, M. (2013). Reconocimiento automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería Y Ciencia*, *9*(18), 171–195.
- CONAGUA. (2015). Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. Retrieved August 27, 2015, from http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=77
- CONANP. (2006). *Programa de conservación y manejo Área de protección de flora y fauna Nahá*. (CONANP-SEMARNAT, Ed.) (1st ed.). México, D.F.: CONANP.
- Crouch III, W. B., & Paton, P. W. C. (2002). Assessing the use of call surveys to monitor breeding anurans in Rhode Island. *Journal of Herpetology*, *36*(2), 185–192.
- Cruz-Lara, L. E., Lorenzo, C., Soto, L., Naranjo, E., & Ramírez-Marcial, N. (2004). Diversidad de mamíferos en cafetales y selva mediana de las cañadas de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, *20*(1), 63–81.
- De Vos, J. (1992). Una selva herida de muerte, historia reciente de la Selva Lacandona. In V.-S. M. A. & R. M. A. (Eds.), *Reserva de la Biósfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su Conservación*. (1st ed., pp. 267–286). San Cristóbal de las Casas, Chiapas.: Centro de Estudios para la Conservación de los Recursos Naturales, A. C. Publicaciones Especiales de Ecosfera 1.
- Duellman, W. E. (1967). Courtship Isolating Mechanisms in Costa Rican Hylid Frogs. *Herpetologica*, *23*(3), 169–183.
- Duellman, W. E. (2001). *The hylid frogs of Middle America* (2nd ed.). Monographs of the Museum of Natural History, University of Kansas.
- Erdtmann, L., & Amézquita, A. (2009). Differential evolution of advertisement call traits in dart-poison frogs (anura: Dendrobatidae). *Ethology*, *115*(9), 801–811.
- Ferrara, C. R., Vogt, R. C., & Sousa-Lima, R. S. (2013). Turtle Vocalizations as the First Evidence of Posthatching Parental Care in Chelonians. *Journal of Comparative Psychology*, *127*(1), 24–32.

- Frasier, K. E., Soldevilla, M. S., McDonald, M. A., Merkens, K. P., Wiggins, S. M., Hildebrand, J. A., & Roch, M. A. (2011). Acoustic monitoring of dolphin populations in the Gulf of Mexico. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *130*(4), 2537–2537.
- Frost, J. S., & Bagnara, J. T. (1976). A New Species of Leopard Frog (*Rana pipiens* Complex) from Northwestern Mexico. *Copeia*, *1976*(2), 332–338.
- García, A., Ortega-Huerta, M. A., & Martínez-Meyer, E. (2013). Potential distributional changes and conservation priorities of endemic amphibians in western Mexico as a result of climate change. *Environmental Conservation*, *41*(1), 1–12.
- Gergus, E. W. A., Reeder, T. W., & Sullivan, B. K. (2004). Geographic variation in *Hyla wrightorum*: advertisement calls, allozymes, mtDNA, and morphology. *Journal Information*, *2004*(4), 758–769.
- Gergus, E. W. A., Sullivan, B. K., & Malmos, K. B. (1997). Call Variation in the *Bufo nzmioscaphus* Complex: Implications for Species Boundaries and the Evolution of Mate Recognition. *Ethology*, *103*, 979–989.
- Gerhardt, H. C. (1994). The evolution of vocalization in frogs and toads. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *25*(1994), 293–324.
- Gibbs, J. P., & Breisch, A. R. (2001). Climate Warming and Calling Phenology of Frogs near Ithaca, New York, 1900–1999. *Conservation Biology*, *15*(4), 1175–1178.
- Gilbert, G., Mcgregor, P. K., & Tyler, G. (1994). Vocal Individuality as a Census Tool: Practical Considerations Illustrated by a Study of Two Rare Species. *Journal of Field Ornithology*, *65*(3), 335–348.
- Gingras, B., Mohandesan, E., Boko, D., & Fitch, W. T. (2013). Phylogenetic signal in the acoustic parameters of the advertisement calls of four clades of anurans. *BMC Evolutionary Biology*, *13*(1), 134.
- Gonzalez, S. C., Touchon, J. C., & Vonesh, J. R. (2011). Interactions between competition and predation shape early growth and survival of two neotropical hylid tadpoles. *Biotropica*, *43*(5), 633–639.
- Gottsberger, B., & Gruber, E. (2004). Temporal partitioning of reproductive activity in a neotropical anuran community. *Journal of Tropical Ecology*, *20*(3), 271–280.
- Harings, N. M., & Boeing, W. J. (2014). Desert Anuran Occurrence and Detection in Artificial Breeding Habitats. *Herpetologica*, *70*(2), 123–134.

- Herrera-Juárez, M. I. (2013). *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*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Hodge, K. B., Tielens, J. T., & Rice, A. N. (2015). Acoustic monitoring of Bryde's whales (*Balaenoptera edeni*) in the northern Gulf of Mexico. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(4), 2220–2220.
- Hsu, M.-Y., Kam, Y.-C., & Fellers, G. M. (2005). Effectiveness of amphibian monitoring techniques in a Taiwanese subtropical forest. *The Herpetological Journal*, 15(2), 73–79.
- Ibáñez, R. D., Jaramillo, C. A., & Solís, F. A. (2012). Description of the advertisement call of a species without vocal sac: *Craugastor gollmeri* (Amphibia : Craugastoridae). *Zootaxa*, (3184), 67–68.
- Jennions, M. D., & Backwell, P. R. Y. (1992). Chorus size influences on the anti-predator response of a Neotropical frog. *Animal Behaviour*, 44(5), 990–992.
- Juárez-Ortíz, J. J. (2012). *Análisis de la actividad acústica en una comunidad de anuros en Tlacotepec de Porfirio Díaz, Puebla*. Tesis de licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Klymus, K. E., Humfeld, S. C., & Gerhardt, H. C. (2012). Geographical variation in male advertisement calls and female preference of the wide-ranging canyon treefrog, *Hyla arenicolor*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 107(1), 219–232.
- Llorente-Bousquets, J., Michán, L., González, G. H., & Ortega, V. S. (2008). Desarrollo y situación del conocimiento de las especies. In CONABIO (Ed.), *Capital natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. (1st ed., pp. 193–214). México, D.F.: CONABIO.
- Llorente-Bousquets, J., & Soberón, J. (1994). Hacia un debate de la taxonomía contemporánea en México. *Boletín de La Academia de La Investigación Científica*, (17), 37–42.
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J. F., Benítez, M., & Do Amaral, J. P. (2013). Calling behaviour under climate change: geographical and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms. *Global Change Biology*, 19(9), 2655–2674.
- Llusia, D., Márquez, R., & Bowker, R. (2011). Terrestrial Sound Monitoring Systems, a Methodology for Quantitative Calibration. *Bioacoustics*, 20(3), 277–286.

- Lynch, M., Bobay, L.-M., Catania, F., Gout, J.-F., & Rho, M. (2011). The repatterning of eukaryotic genomes by random genetic drift. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, *12*, 347–366.
- Márquez, R., De la Riva, I., & Bosch, J. (1993). Advertisement call of Bolivian species of *Hyla* (Amphibia, Anura, Hylidae). *Biotropica*, *25*(4), 426–443.
- Martins, I. A., & Jim, J. (2003). Bioacoustic analysis of advertisement call in *Hyla nana* and *Hyla sanborni* (Anura, Hylidae) in Botucatu, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, *63*(3), 507–516.
- Mendizábal-Bevérido, N. (2011). *Repertorio vocal e interacciones acústicas de machos de Ecnomiohyla miotympanum (Anura: Hylidae)*. Tesis de maestría. Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana.
- Morales-Mota, A. (2014). *Estudio de la actividad acústica de dos especies de anuros del parque estatal Lázaro Cárdenas "Flor del Bosque."* Tesis de licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Narins, P. M., & Meenderink, S. W. F. (2014). Climate change and frog calls: long-term correlations along a tropical altitudinal gradient. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *281*(1783), 1–6.
- Nelson, C. E. (1974). Further studies on the systematics of *Hypopachus* (Anura: Microhylidae). *Herpetologica*, *30*(3), 250–275.
- Ochoa-Gaona, S., Hernández-Vázquez, F., De Jong, B. H. J., & Gurri-García, F. D. (2007). Pérdida de diversidad florística ante un gradiente de intensificación del sistema agrícola de roza-tumba-quema. Un estudio de caso en la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, *80*, 65–80.
- Ochoa-Ochoa, L. M., Rodríguez, P., Mora, F., Flores-Villela, Ó., & Whittaker, R. J. (2012). Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico. *Biological Conservation*, *150*(1), 94–102.
- Ochoa-Ochoa, L. M., & Whittaker, R. J. (2014). Spatial and temporal variation in amphibian metacommunity structure in Chiapas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, *30*, 537–549.
- Ohmer, M. E., Robertson, J. M., & Zamudio, K. R. (2009). Discordance in body size, colour pattern, and advertisement call across genetically distinct populations in a Neotropical anuran (*Dendropsophus ebraccatus*). *Biological Journal of the Linnean Society*, *97*(2), 298–313.

- Oskanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., ... Wagner, H. (2013). Vegan: Community Ecology Package. R package version.
- Parra-Olea, G., Flores-Villela, Ó., & Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 460–466.
- Pechmann, J. H. K., Scott, D. E., Semlitsch, R. D., Caldwell, J. P., Vitt, L. J., & Gibbs, J. P. (1991). Declining amphibian populations: the problem of separating human impacts from natural fluctuations. *Science*, 253, 892–895.
- Pettitt, B. A., Bourne, G. R., & Bee, M. A. (2013). Advertisement Call Variation in the Golden Rocket Frog (*Anomaloglossus beebei*): Evidence for Individual Distinctiveness. *Ethology*, 119(3), 244–256.
- Pröhl, H., Hagemann, S., Karsch, J., & Höbel, G. (2007). Geographic Variation in Male Sexual Signals in Strawberry Poison Frogs (*Dendrobates pumilio*). *Ethology*, 113(9), 825–837.
- Pröhl, H., Koshy, R. A., Mueller, U., Rand, A. S., & Ryan, M. J. (2006). Geographic variation of genetic and behavioral traits in northern and southern túngara frogs. *Evolution*, 60(8), 1669–1679.
- Ranft, R. D. (1997). Bioacoustic libraries and recordings of aquatic animals. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 29(1-4), 251–262.
- Reichert, M. S. (2013). Sources of variability in advertisement and aggressive calling in competitive interactions in the grey treefrog, *Hyla versicolor*. *Bioacoustics*, 22(3), 195–214.
- Reyes-Velasco, J., Ahumada-Carrillo, I., Burkhardt, T. R., & Devitt, T. J. (2015). Two new species of *Eleutherodactylus* (subgenus *Syrrhophus*) from western Mexico. *Zootaxa*, 3, 301–3017.
- Rorabaugh, J. C., & Lang, E. (2006). Tarahumara frog (*Rana tarahumarae*) call types and characteristics. *Sonoran Herpetologist*, 19(12), 134–136.
- Ryan, M. J., Rand, A. S., & Weigt, L. A. (1996). Allozyme and advertisement call variation in the túngara frog, *Physalaemus pustulosus*. *Evolution*, 50(6), 2435–2453.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1a edición). México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Salazar-Zúñiga, J. A., & García-Rodríguez, A. (2014). Advertisement call of *Craugastor noblei*: another calling species of the *Craugastor gollmeri* Group (Anura: Craugastoridae). *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, *13*(1), 67–70.
- Salthe, S. N., & Mechm, J. S. (1974). Reproductive and courtship patterns. In *Physiology of the Amphibia Vol 2* (pp. 309–521). New York: Academic Press.
- Sarmiento-Rojas, A. (2014). *Estudio bioacústico de las vocalizaciones de ocho especies de anuros en la región montañosa central de veracruz*. Tesis de maestría. Instituto de Ecología A.C.
- Savage, J. M. (2002). *The Amphibians and Reptiles of Costa Rica: A Herpetofauna Between Two Continents, Between Two Seas*. Chicago, US: University of Chicago Press.
- Serrano, J. M. (2009). *Comunicación acústica de machos y hembras de Eleutherodactylus cystignathoides (anura: Eleutherodactylidae) en el centro de Veracruz, México*. Tesis de maestría. Instituto de Ecología A.C.
- Sidorovskaia, N. A., Udovydchenkov, I. A., Rypina, I. I., Ioup, G. E., Ioup, J. W., Caruthers, J. W., ... Fisher, R. (2004). Propagation modeling for sperm whale acoustic clicks in the northern Gulf of Mexico. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *115*(5), 2556–2556.
- Smith, M. J., & Hunter, D. (2005). Temporal and Geographic Variation in the Advertisement Call of the Booroolong Frog. *Ethology*, *111*(12), 1103–1115.
- Sosa-López, J. R., González, C., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2013). Vocal Geographic Variation In Mesoamerican Common Bush Tanagers (*Chlorospingus ophthalmicus*). *The Wilson Journal of Ornithology*, *125*(1), 24–33.
- Streicher, J. W., García-Vázquez, U. O., Ponce-Campos, P., Flores-Villela, Ó., Campbell, J. A., & Smith, E. N. (2014). Evolutionary relationships amongst polymorphic direct-developing frogs in the *Craugastor rhodopsis* Species Group (Anura: Craugastoridae). *Systematics and Biodiversity*, *12*(1), 1–22.
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. L., Fischman, D. L., & Waller, R. W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, *306*(5702), 1783–1786.
- Sueur, J. (2002). Cicada acoustic communication: potential sound partitioning in a multispecies community from Mexico (Hemiptera: Cicadomorpha: Cicadidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, *75*(3), 379–394.

- Tarvin, R. D., Silva Bermúdez, C., Briggs, V. S., & Warkentin, K. M. (2015). Carry-over Effects of Size at Metamorphosis in Red-eyed Treefrogs: Higher Survival but Slower Growth of Larger Metamorphs, *47*(2), 218–226.
- Tubaro, P. L. (1999). Bioacústica aplicada a la sistemática, conservación y manejo de poblaciones naturales de aves. *Etología*, *7*, 19–32.
- Tuttle, M. D., & Ryan, M. J. (1982). The role of synchronized calling, ambient light, and ambient noise in anti-bat behaviour of a treefrog. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *11*(2), 125–131.
- UNESCO. (2015). World network of Biosphere reserves. Retrieved August 27, 2015, from <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/latin-america-and-the-caribbean/>
- Valetti, J. A., Salas, N. E., & Martino, A. L. (2013). Bioacústica del canto de advertencia de *Ceratophrys cranwelli* (Anura: Ceratophryidae). *Revista de Biología Tropical*, *61*(1), 273–280.
- Van Allen, B. G., Briggs, V. S., McCoy, M. W., & Vonesh, J. R. (2010). Carry-over effects of the larval environment on post-metamorphic performance in two hylid frogs. *Oecologia*, *164*(4), 891–898.
- Vasconcelos, T. D. S., dos Santos, T. G., Rossa-Feres, D. de C., & Haddad, C. F. B. (2011). Spatial and temporal distribution of tadpole assemblages (Amphibia, Anura) in a seasonal dry tropical forest of southeastern Brazil. *Hydrobiologia*, *673*(1), 93–104.
- Vásquez-Díaz, J., & Flores-Villela, Ó. (1991). *Pternohyla dentata* upland burrowing treefrog mating call. *Herpetological Review*, *22*(4), 129.
- Vergne, A. L., Aubin, T., Martin, S., & Mathevon, N. (2012). Acoustic communication in crocodylians: information encoding and species specificity of juvenile calls. *Animal Cognition*, *15*(6), 1095–1109.
- Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekí, B. (2011). A primer of Acoustic Analysis for Landscape Ecologists. *Landscape Ecol*, *26*(9), 1233–1246.
- Waddle, J. H., Thigpen, T. F., & Glorioso, B. M. (2009). Efficacy of automatic vocalization recognition software for anuran monitoring. *Herpetological Conservation and Biology*, *4*(3), 384–388.
- Walls, S. C., Barichivich, W. J., & Brown, M. E. (2013). Drought, deluge and declines: the impact of precipitation extremes on amphibians in a changing climate. *Biology*, *2*(1), 399–418.

- Wang, Y., Zhao, J., Yang, J., Zhou, Z., Chen, G., & Liu, Y. (2014). Morphology, molecular genetics, and bioacoustics support two new sympatric Xenophrys toads (Amphibia: Anura: Megophryidae) in southeast China. *PloS One*, 9(4), e93075. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0093075>
- Wells, K. D. (2010). *The ecology and behavior of amphibians*. (2nd ed.). Chicago, US: Chicago, IL, University of Chicago Press.
- Wen, A., Vasquez, N., & Castroviejo-Fisher, S. (2012). Description of the previously unknown advertisement calls of *Hyalinobatrachium fragile*, *H. pellucidum*, and *Vitreorana antisthenesi* (Amphibia: Centrolenidae). *Zootaxa*, 3480, 80–87.
- Wollerman, L., & Wiley, R. H. (2002a). Background noise from a natural chorus alters female discrimination of male calls in a Neotropical frog. *Animal Behaviour*, 63(1), 15–22.
- Wollerman, L., & Wiley, R. H. (2002b). Possibilities for error during communication by neotropical frogs in a complex acoustic environment. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 52(6), 465–473.