

Respuestas acústicas en la abeja angelita *Tetragonisca angustula* a cambios ambientales

ACOUSTIC RESPONSES IN THE ANGEL BEE *TETRAGONISCA ANGUSTULA* TO ENVIRONMENTAL CHANGES

Julian David Castaño-Largo¹
juliandavid03@javerianacali.edu.co

Carolina Camargo-Gil²
carocamargo@cenicana.org

Luis Eduardo Tobón-Llano³
letobon@javerianacali.edu.co

Hoover Esteban Pantoja-Sánchez⁴
hpantoja@humboldt.org.co

¹Estudiante de pregrado en Biología, Pontificia Universidad Javeriana Cali

²Directora del trabajo de grado, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA)

³Codirector del trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana Cali

⁴Asesor del trabajo de grado, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Resumen

La acústica es una alternativa con un alto potencial en el estudio de la biología y la ecología de insectos. Debido a que los insectos ocupan el grupo de animales más diversos en el planeta, es necesario tener herramientas accesibles para evaluar la acústica de insectos de forma sencilla pero precisa. Para nuestro país, una especie de importancia económica e indicadora de impactos ambientales es la abeja angelita *Tetragonisca angustula*. Las abejas son bioindicadores de sanidad ambiental y por esto resulta importante entender su biología y características acústicas. El objetivo de este trabajo fue estandarizar una metodología sencilla para medir cambios acústicos en relación a estímulos ambientales en insectos pequeños como los son las abejas meliponas. Para caracterizar el sonido de *T. angustula*, se realizó una comparación acústica entre una colmena de *T. angustula* y una colmena control de *Nannotrigona sp.*. Se encontró que *T. angustula* emite una frecuencia promedio de 213,7 Hz con una duración promedio de 0,2409 s mientras que *Nannotrigona sp.* emitió una frecuencia promedio de 195,5 Hz con una duración promedio de 0,0913 s. Se midió la actividad de la colmena a diferentes horas y se estudió cómo varía la frecuencia (Hz) emitida por la colmena en función de la temperatura ambiental. Se encontró que a las 12:00 h hay mayor actividad en la colmena de *T. angustula* con un promedio de 198 individuos y una frecuencia promedio de 218,4 Hz a una temperatura promedio de 28,5 °C. Este trabajo representa la primera línea base de acústica para la abeja angelita desarrollada a través de metodologías sencillas y eficientes permitiendo ampliar las posibilidades metodológicas al momento de realizar estudios con dispositivos de fácil acceso.

Palabras Clave: Acústica, abejas, variables ambientales

Abstract

Acoustics is an alternative with high potential in the study of insect biology and ecology. Because insects occupy the most diverse group of animals on the planet, it is necessary to have accessible tools to evaluate insect acoustics in a simple but accurate way. For our country, a species of economic importance and indicator of environmental impacts is the angelita bee *Tetragonisca angustula*. Bees are bioindicators of environmental health and therefore it is important to understand their biology and acoustic characteristics. The objective of this work was to standardize a simple methodology to measure acoustic changes in relation to environmental stimuli in small insects such as melipona bees. To characterize the sound of *T. angustula*, an acoustic comparison was made between a *T. angustula* hive and a *Nannotrigona sp.* control hive. *T. angustula* was found to emit an average frequency of 213.7 Hz with an average duration of 0.2409 s while *Nannotrigona sp.* emitted an average frequency of 195.5 Hz with an average duration of 0.0913 s. We measured the hive activity at different times and studied how the frequency (Hz) emitted by the hive varies as a function of ambient temperature. It was found that at 12:00 h there is greater activity in the *T. angustula* hive with an average of 198 individuals and an average frequency of 218.4 Hz at an average temperature of 28.5 °C. This work represents the first baseline of acoustics for the angelita bee developed through simple and efficient methodologies allowing to expand the methodological possibilities when carrying out studies with easily

accessible devices.

Keywords: Acoustics, bees, environmental variables

INTRODUCCIÓN

Las abejas usan un lenguaje complejo para comunicarse con su colonia que consta de señales químicas y acústicas (Michelsen et al., 1986). Dentro de la colmena se pueden distinguir algunas señales vibroacústicas como movimientos de las alas y corporales, contracciones musculares sin movimiento alar, presión torácica contra los sustratos u otros individuos, entre otros (Hunt & Richard, 2013).

De los 24 géneros de abejas sin aguijón que existen, uno de ellos es el género *Tetragonisca* (Nates-Parra et al., 2021), que posee cuatro especies (*Tetragonisca angustula*, *Tetragonisca buchwaldi*, *Tetragonisca fiebrigi* y *Tetragonisca weyrauchi*), pero la única especie que se distribuye por el territorio colombiano, es *Tetragonisca angustula* (Camargo & Pedro, 2013).

T. angustula, en Colombia, habita en todas las regiones en latitudes comprendidas desde los 100 hasta los 1800 msnm (Nates-Parra, 2001). Su nido está formado por un tubo de cera amarilla o blanca porosa de aproximadamente un centímetro de diámetro recubierta de un barniz que impide la entrada de hormigas y arañas. Además, la entrada tiene cepas microbianas con funciones antibacterianas y antifúngicas que ayuda en la higiene del nido (Salas-Romo, 2018).

Las nuevas tecnologías para monitorear e identificar especies prometen métodos más económicos y versátiles impulsando los esfuerzos de conservación (Pimm et al., 2015). Se cree que para el estudio de insectos se requieren metodologías que por lo general demanda equipos complejos y costosos para estudios como la biotelemedría (Cooke et al., 2004), bioacústica (Merchant et al., 2015), rastreo GPS (Kays et al., 2015), entre otros debido al pequeño tamaño de los insectos. Sin embargo la bioacústica ha tenido diversos avances en el desarrollo de estrategias que permiten entender la comunicación acústica de insectos a través de dispositivos celulares. Además, el creciente avance de las herramientas computacionales permiten reconocer señales acústicas a diferentes frecuencias, además de la aplicación de la inteligencia artificial en el análisis de los datos.

En este trabajo, se exploran métodos basados en dispositivos celulares para grabaciones y softwares de libre acceso para el análisis de sonidos de la abeja angelita, caracterizando la línea base acústica de la colmena de *T. angustula*. Al final, a través de los métodos desarrollados, se evaluó la actividad en la colmena y los cambios de sonidos en respuesta a variaciones ambientales.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la colmena de *T. angustula* ubicada entre la cara externa de la capilla y las escaleras que conducen a la decanatura de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, calle 18 # 118-250 en Santiago de Cali (Figura 1B).

La Pontificia Universidad Javeriana-Cali (PUJ Cali) se encuentra en la ciudad de Cali, ciudad a 1.000 msnm con un clima tropical húmedo-seco con una temperatura promedio de 25°C (Alcaldía de Santiago de Cali, 2004). En PUJ Cali, se encuentran distribuidas diferentes poblaciones de *T. angustula*, de las cuales se utilizó una colmena (Figura 2) para realizar un estudio de acústica con un micrófono de celular en donde se recolectaron los datos para su posterior análisis.



Figura 1. A. Georreferenciación de PUJ Cali. Tomado de: Google Maps. **B.** Ubicación de la colmena de *T. angustula*

Los datos se tomaron en la última semana de septiembre y la primera semana de octubre del año 2022. El celular que fue utilizado para tomar los datos es el iPhone 12 Pro a una distancia aproximada de 2 centímetros entre el micrófono del celular y la entrada de la colmena (Figura 3). La grabación del sonido se hizo mediante la aplicación RØDE Rec LE de la App Store la cual permite grabar los audios en formato WAV y se configuró el micrófono a una sensibilidad de aproximadamente el 70%. Posteriormente, los audios fueron analizados como espectrogramas en el software Raven Pro con un focus de 2500 (Figura 4), donde se realizó el conteo de armónicos (variaciones de las frecuencias organizadas en el rango de emisión (espectrograma)), se halló la frecuencia fundamental (frecuencia más baja) y la duración en segundos de cada armónico y estos datos fueron procesados en RStudio y Microsoft Excel.



Figura 2. Colmena objetivo de *T. angustula*

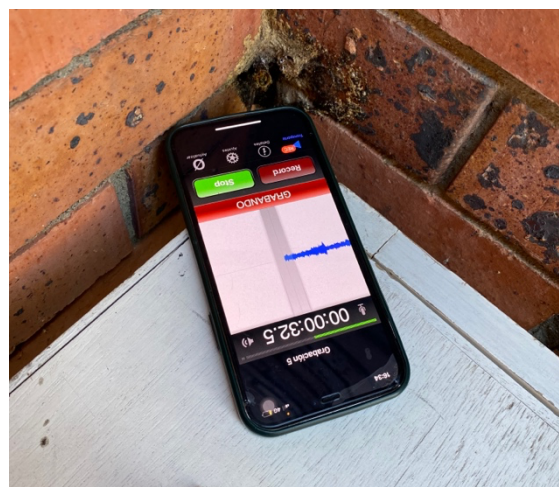


Figura 3. Dispositivo celular tomando datos

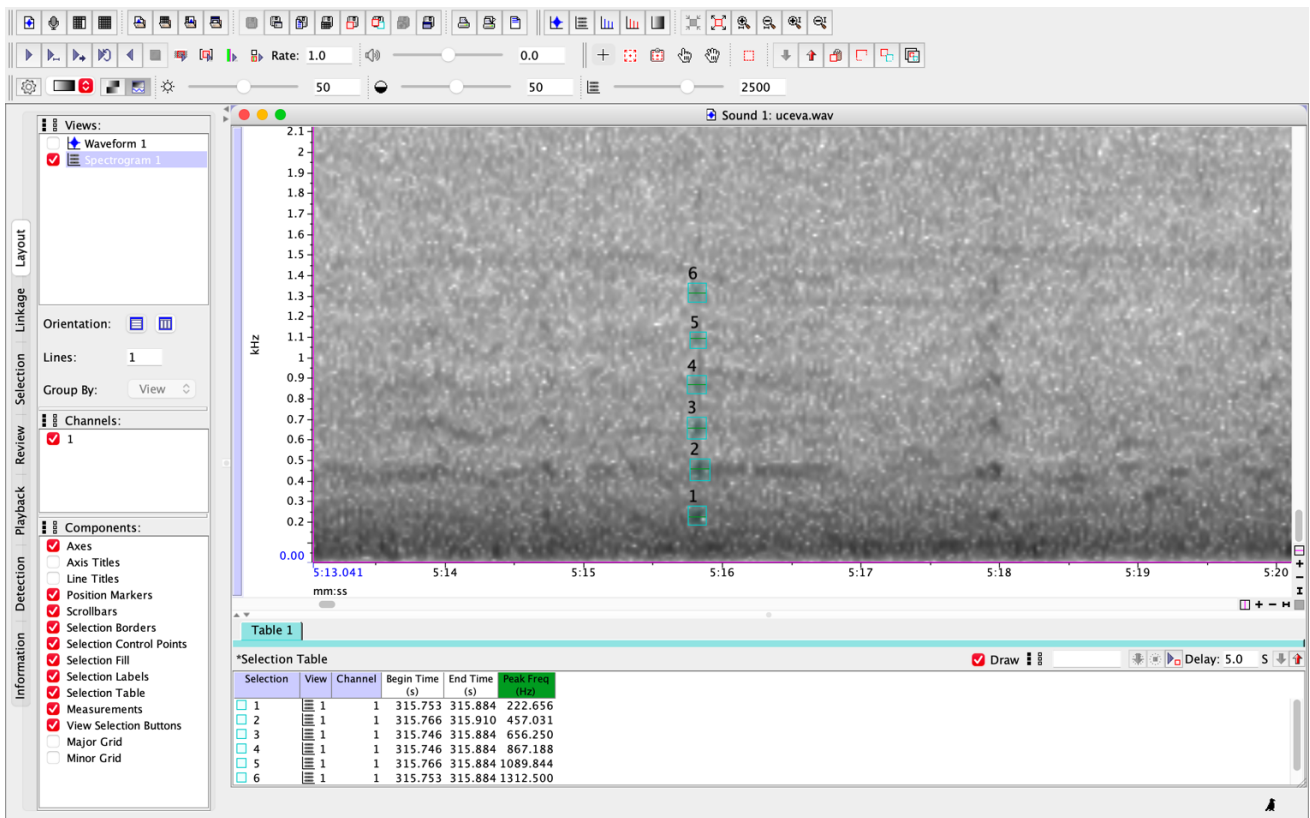


Figura 4. Ventana principal de Raven Pro señalando los seis armónicos de la señal en el espectrograma, el tiempo en el que inició y finalizó la señal y la frecuencia fundamental

Para caracterizar el sonido de *T. angustula*, se realizó una toma de datos la cual consistió en registrar las señales acústicas de una colmena de abejas angelita del género *Nannotrigona* ubicada en un árbol Samán en el Parque del Perro (Cra. 34 # 3ª-15). Para esto, se tomó una grabación de 20 minutos y se comparó el espectrograma con el espectrograma de la colonia de *T. angustula* encontrada en la Universidad Central del Valle (UCEVA) teniendo en cuenta valores como la frecuencia promedio, el número promedio de armónicos y la duración promedio de la señal.



Figura 5. Colmena de *T. angustula* UCEVA



Figura 6. Colmena de *Nannotrigona* sp.

Los datos climáticos fueron obtenidos de la red climatológica de CENICAÑA de la estación en Meléndez para determinar con mayor precisión cuáles son las condiciones ambientales a las que está sometida la colonia. Para lograr abarcar un espectro climático más amplio y determinar el intervalo horario al que se presenta con más frecuencia este fenómeno en las abejas angelita, la toma de datos se realizó a diferentes horas del día por 30 minutos; A las 06:00, 12:00 y 17:00 horas. Durante este tiempo se realizaron grabaciones de la colmena y se caracterizó el número de eventos acústicos y la diferencia en frecuencias y tiempos de cada uno de los eventos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con una muestra de 60 señales registradas, se encontró que *T. angustula* (Figura 7A) emite señales con una duración promedio de 0,2409 s, la frecuencia fundamental en promedio es de 213,4 Hz, la frecuencia que más se repite es 222,656 Hz y los individuos cuentan, en promedio, con seis (6) armónicos.

Para hacer un comparativo de cómo se comporta *T. angustula* versus *Nannotrigona sp.*, se tomó otra muestra de 60 señales registradas, pero de *Nannotrigona sp.* (Figura 7B), donde se encontró que produce señales con una duración promedio de 0,0913 s, la frecuencia fundamental es en promedio de 195,5 Hz, la frecuencia que más se repite es 199,219 Hz y con un promedio de cinco (5) armónicos por individuo. Con estos resultados, podemos medir señales acústicas en meliponinas y podemos traducir los espectrogramas a datos numéricos, concluyendo que se trata de dos especies diferentes.

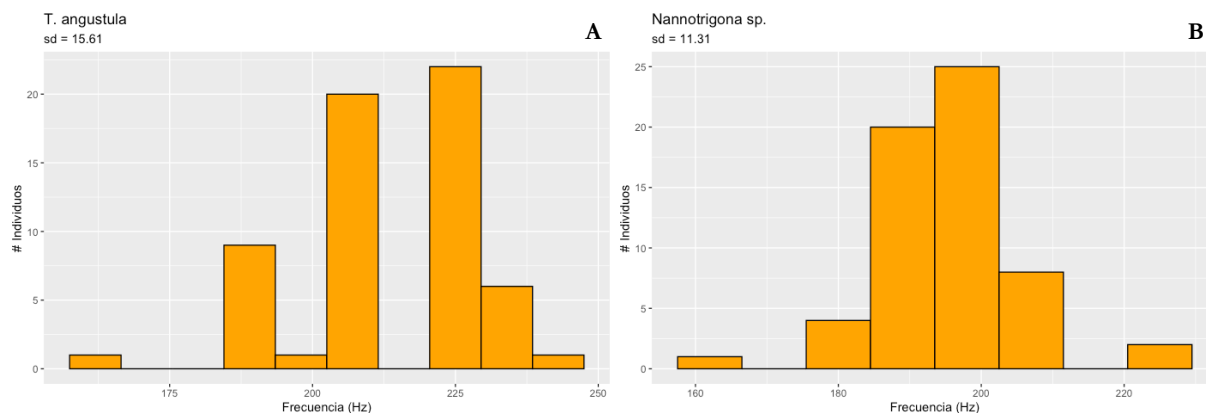


Figura 7. A) Frecuencias (Hz) de *T. angustula* UCEVA. **B)** Frecuencias (Hz) *Nannotrigona sp.*

Realizando un análisis del tiempo de duración de los armónicos de una muestra de 25 registros acústicos de cada especie, se obtuvo que *Nannotrigona sp.* y *T. angustula* tienen respuestas diferentes en el tiempo que duran las señales. Se observó que *Nannotrigona sp.* tiene duraciones más cortas en sus señales, mientras *T. angustula* presentó duraciones más largas (Figura 8). Las diferencias en tiempos fueron estadísticamente diferentes a través de un prueba de t (DF: 1; $t = 232.1$ $P < 2e-16$ ***).

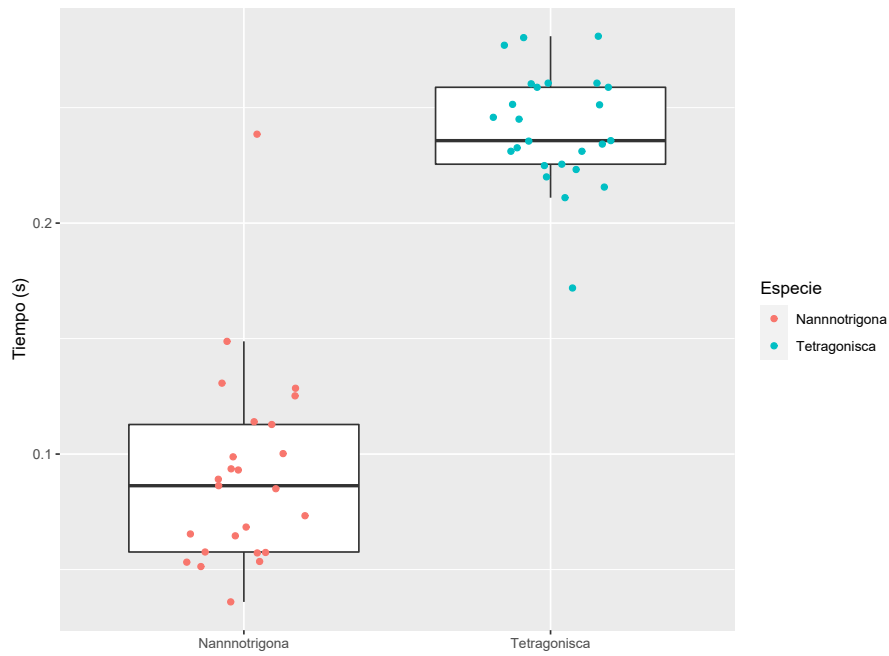


Figura 8. Duración de la señal (s) *T. angustula* UCEVA vs. *Nannotrigona* sp.

Durante el estudio, se pudo evidenciar que, en los horarios de las 12:00 y las 17:00 h es cuando se presenta mayor actividad en la colmena con 198 y 104 registros acústicos respectivamente. Mientras que, para las 06:00 h, se encontró la menor actividad con 23 registros (Figura 9). Estas diferencias en número de registros fueron estadísticamente diferentes a través de un análisis de varianza ($F=7.648$ $P=0.0032$ **).

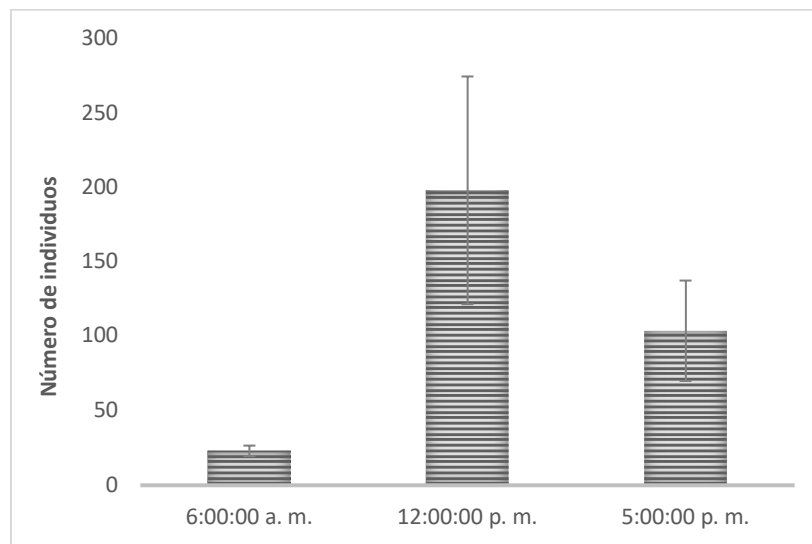


Figura 9 Número de registros acústicos *T. angustula* P.U.J. Cali comparado por horas

Para entender cómo varían las frecuencias emitidas por los individuos de la colmena de *T. angustula*, se realizó un análisis tanto de la duración promedio (s) como de las frecuencias fundamentales en cada uno de los horarios de muestreo y se compararon entre sí.

Para las 06:00 h (Figura 10A), se encontró que los individuos a una temperatura promedio de 19,1°C, emiten una frecuencia

promedio de 194,8 Hz y la frecuencia que más se repite es de 187,5 Hz. Además, la duración promedio de las señales es de 0,1912 s. Para las 12:00 h (Figura 10B), se encontró que los individuos a una temperatura promedio de 28,5°C, emiten una frecuencia promedio de 218,4 Hz siendo 210,938 Hz la frecuencia que más se repite mientras que la duración promedio de las señales es de 0,2629 s. Para las 17:00 h (Figura 10C), se encontró que los individuos a una temperatura promedio de 25,9°C, emiten una frecuencia promedio de 213,7 Hz con 210,938 Hz como la frecuencia más repetida con una duración de señal promedio de 0,2986 s.

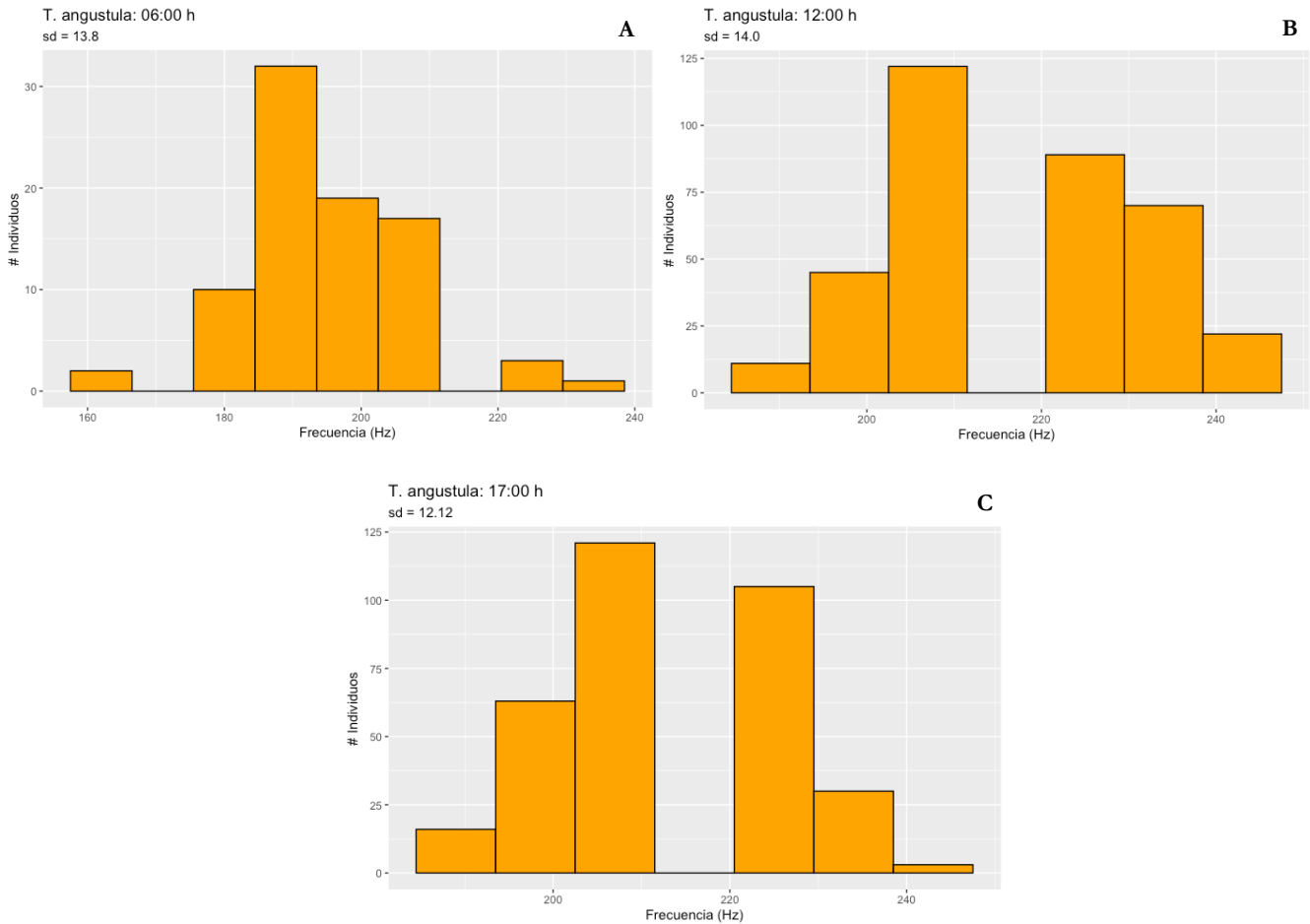


Figura 10. Frecuencias (Hz) *T. angustula* a las **A.** 06:00 h. **B.** 12:00 h. **C:** 17:00 h.

En cuanto a los tiempos de los armónicos de una submuestra de registros de *T. angustula* en cada uno de los tiempos evaluados, se encontró que a las 06:00 h. la duración de las señales fueron menores comparadas con las 12:00 y las 17:00 horas (Figura 11)

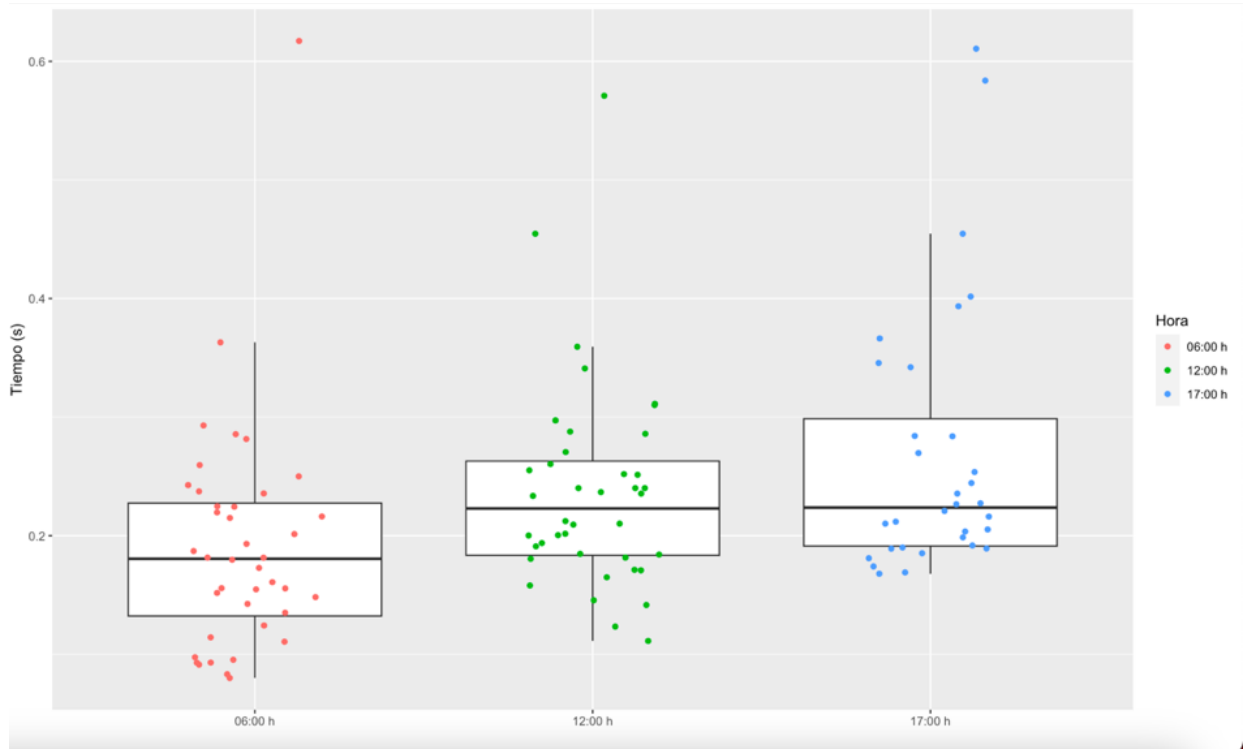


Figura 11. Duración de la señal (s) *T. angustula* P.U.J. Cali 06:00 h vs. 12:00 h vs. 17:00 h

En 2021, Martínez-Medina y colaboradores realizaron una búsqueda de información de estudios en bioacústica en seis grupos taxonómicos diferentes, entre los cuales se encontraban los insectos, encontrando así, que el estudio de acústica en insectos en Colombia está poco desarrollado. Encontraron 31 trabajos de los cuales 25 son en Ortópteros, 3 en dípteros, 1 en homópteros y otro en coleópteros; confirmando que la acústica en abejas, específicamente en meliponinas, está poco estudiado, siendo este trabajo, uno de los primeros en bioacústica de abejas en Colombia con metodologías de fácil acceso.

Mediante esta metodología se puede realizar un monitoreo acústico pasivo, el cual consiste en ubicar uno o varios micrófonos en determinada zona y caracterizar los diferentes sonidos que se encuentran en las grabaciones (Blumstein et al., 2011). En las grabaciones se pudo encontrar sonidos diferentes al de *T. angustula*; entre los que se distinguen sonidos de aves, chicharras e incluso antropogénicos como voces, risas, automóviles, motocicletas, helicópteros y aviones, demostrando que la metodología no es válida únicamente para estudiar organismos vivos, también puede ser aplicada en estudios multidisciplinarios.

Debido a que *T. angustula* posee diferentes castas entre las que se encuentran las abejas soldado y las obreras y que ambas permanecen la mayor parte del tiempo fuera del nido (protegiendo la colmena y forrajeando respectivamente) (Nates-Parra, 2001), no es posible diferenciar, con esta metodología, a cuál de las dos castas pertenece cada frecuencia emitida. Eso puede explicar por qué en los histogramas hay franjas intermedias en las que no se registraron datos, quizá en el momento de las grabaciones predominaba una casta sobre la otra. Sin embargo, en el momento de grabar a *Nannotrigona sp.*, el tamaño del enjambre era mayor, pudiendo ser una explicación a la ausencia de franjas intermedias vacías (sin datos); Seguramente, en el momento de la grabación, el sonido que emitían las obreras era mayor que el de las abejas soldado.

La temperatura ambiental es un factor muy importante para forrajear, ya que cuando la temperatura es menor a los 20°C, disminuye su actividad metabólica dificultando el vuelo, lo que provoca una reducción en el forrajeo (Michener, 1974). Esto pudo ser comprobado en el estudio ya que, a las 06:00 h cuando la temperatura promedio fue de 19,1°C, fue cuando se presentó la frecuencia promedio (Hz) más baja en comparación con las 12:00 y 17:00 h cuando la temperatura promedio superaba los 25°C.

López-Nanzer en el 2017 realizó un estudio en el que encontró que *T. angustula* tiene un pico de actividad en invierno hacia las 13:00 horas, mientras que en verano su pico de actividad se encuentra hacia las 08:00 horas. Esto puede explicar el por qué hacia las 12:00 horas fue cuando se encontró un mayor número promedio de datos acústicos en comparación con las 06:00 y 17:00 horas.

CONCLUSIONES

Este proyecto tiene un gran impacto en la caracterización de los sonidos en abejas y la aplicación de herramientas acústicas en programas de conservación y estudios de biología en abejas, logrando validar una metodología sencilla para diferenciar especies diferentes e identificar cambios de frecuencias ante variaciones ambientales. Se encontró que es posible monitorear el número de individuos de una colonia a través de grabaciones con dispositivos celulares que pueden ser analizadas con software de libre acceso. Adicionalmente, se concluyó que la respuesta acústica de la abeja angelita puede variar en las horas de la mañana en comparación con las horas de la tarde.

REFERENCIAS

- Alcaldía de Santiago de Cali. (2004, 11 mayo). Datos de Cali y el Valle del Cauca. Recuperado 8 de junio de 2022, de https://www.cali.gov.co/gobierno/publicaciones/227/datos_de_cali_y_el_valle_del_cauca/
- Blumstein, D.T., Mennill, D.J., Clemins, P., Girod, L., Yao, K., Patricelli, G. *et al.* (2011) Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology* **48**, 758–767.
- Camargo J.M.F., Pedro S.R.M. 2013. Meliponini Lepageletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D. & Melo, G.A.R. (Orgs). Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version. Consultado en: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>
- Cooke, S. J., Hinch, S. G., Wikelski, M., Andrews, R. D., Kuchel, L. J., Wolcott, T. G., & Butler, P. J. (2004). Biotelemetry: A mechanistic approach to ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 334–343.
- Hunt, J.; Richard, F.J. Intracolony vibroacoustic communication in social insects. *Insectes Sociaux*. 2013,60, 403–417.
- Kays, R., Crofoot, M. C., Jetz, W., & Wikelski, M. (2015). Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science*, 348, aaa2478.
- López-Nanzer S.L. 2017. *Atividade de forrageamento das abelhas sem ferrão Tetragonisca angustula e Melipona quadricolorata* (Hymenoptera, Apidae). Trabajo de Grado, ESALQ. Escuela superior de Agricultura Luis de Queiroz, Brasil. 29 pp.
- Martínez-Medina, D., Acevedo-Charry, O., Medellín-Becerra, S., Rodríguez-Fuentes, J., López-Casas, S., Muñoz-Duque, S., Rivera-Correa, M., López-Aguirre, Y., Vargas-Salinas, F., Laverde-R, O. & Rodríguez-Posada, M. (2021). Estado, desarrollo y tendencias de los estudios en acústica de la fauna en Colombia. *Biota Colombiana*, 22(1), 7-25.
- Merchant, N. D., Fristrup, K. M., Johnson, M. P., Tyack, P. L., Witt, M. J., Blondel, P., & Parks, S. E. (2015). Measuring acoustic habitats. *Methods in Ecology and Evolution* 6, 257–265.
- Michelsen, A.; Kirchner, W.H.; Lindauer, M. Sound and vibrational signals in the dance language of the honeybee, *Apis mellifera*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 1986,18, 207–212.
- Michener C. 1974. *The Social behavior of the bees*. Cambridge, Mass. Harvard Univ.Press. 404pp.
- Nates-Parra G. 2001. Guía para la cría y manejo de la abeja angelita o virginita *Tetragonisca angustula* Illiger. Convenio Andrés Bello, Serie Ciencia y Tecnología No. 84; Bogotá. 43 pp.

Julian David Castaño-Largo et al. (2022)

Pimm, S. L., Alibhai, S., Bergl, R., Dehgan, A., Giri, C., Jewell, Z., ... Loarie, S.. (2015). Emerging technologies to conserve biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 30, 685–696.

Salas-Romo M.F. 2018. Microbiota asociada a los tubos de entrada de las colmenas de abejas sin aguijón en la defensa contra enemigos naturales. Tesis MSc. Universidad Nacional de Colombia, Medellín 36 pp.