



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Biología

Fecha: 07/02/2023

Autores:

Nombre del Proyecto de Grado:

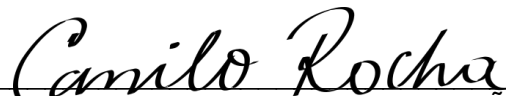
Director: **Carolina Camargo**

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

Firma del Director del Proyecto de Grado

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado
en cumplimiento de los requisitos exigidos por la
Pontificia Universidad Javeriana para optar el
título de Biólogo.




Dr. HERNAN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano Facultad de Ingeniería



DR. MATEO LOPEZ VICTORIA
Director Carrera Biología



Carolina Camargo_
(Nombre Director)
Director Trabajo de Grado



(Nombre Jurado 1)
Jurado 1

Eliana Barona Cortés

(Nombre Jurado 1)
Jurado 2

19/08/2022 San Antonio de los Caballeros, Valle del cauca

Secretaría de Facultad de ingeniería
Carrera de Biología
Pontificia Universidad Javeriana Sede Cali



Asunto: Constancia director de trabajo de grado de pregrado estudiante Julián David Castaña Largo

Estimados Señores:

Por medio de la presente me dirijo a usted para dejar constancia de mi participación como directora de tesis del estudiante de la carrera de Biología de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali Julián David Castaña Largo quién se encuentra presentando su propuesta titulada: *Respuestas acústicas en la abeja angelita Tetragranonisca angustula a cambios ambientales*. Mi formación profesional es bióloga, entomóloga PhD con experiencia en biología y ecología de insectos lo que el estudiante a considerado pertinente para el asesoramiento y dirección de su trabajo de grado. Cualquier información adicional que necesiten pueden contactarme a mi correo carocamargo@cenicana.org

Atentamente,

Carolina Camargo Gil
Entomóloga PhD

**RESPUESTAS ACÚSTICAS EN LA ABEJA ANGELITA *TETRAGONISCA*
ANGUSTULA A CAMBIOS AMBIENTALES**

JULIAN DAVID CASTAÑO LARGO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SANTIAGO DE CALI

2022

**RESPUESTAS ACÚSTICAS EN LA ABEJA ANGELITA *TETRAGONISCA*
ANGUSTULA A CAMBIOS AMBIENTALES**

JULIAN DAVID CASTAÑO LARGO

Trabajo presentado como requisito para optar al título de Biólogo

DIRECTORA

Carolina Camargo Gil, Ph.D.

CODIRECTOR

Luis Eduardo Tobón Llano, Ph.D.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SANTIAGO DE CALI

2022

DEDICATORIA

Me gustaría dedicarle este trabajo a mis padres, por ser pieza fundamental en cada logro y cada meta que cumpla, además, por apoyarme y motivarme cuando las cosas no salen como se esperaban. También, quiero dedicárselo a mi novia, Mariana Cuervo Solarte, por estar siempre acompañándome, motivándome, ayudándome y apoyándome en esta recta final de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, primera e infinitamente, a mis padres, todo se lo debo a ellos por siempre creer y confiar en mí. A mi novia, Mariana Cuervo Solarte, por haberme acompañado y apoyado en todo este proceso. También a sus padres y a toda la familia Cuervo Solarte, por su preocupación y apoyo en el avance de mi trabajo de grado. A su prima, Sandra Velasco Cuervo y a su amiga y colega Antonella Sardi Saavedra por ser la persona que me ayudó a contactar a la doctora Carolina Camargo Gil, su compañera de trabajo en CENICANÑA quien se interesó en mi proyecto y decidió dirigirlo. A ella también quiero agradecerle, por no limitarse a ser mi directora de tesis, sino que también se involucró en el proyecto, permitiéndome, incluso, participar en el Primer Congreso Colombiano de Bioacústica y Ecoacústica en Villa de Leiva. A Hoover Esteban Pantoja Sánchez por su paciencia y su disposición para guiarme en el trabajo y enseñarme a manejar el software. Agradezco también a mis profesores, en especial al doctor Mauricio Alberto Quimbaya Gómez, que, en su etapa de director de carrera, fue un excelente consejero. Al doctor Juan Felipe Lazarus Agudelo, por no limitarse a su función de profesor, sino que también me brindó consejos clave, principalmente en mis primeros semestres que fueron bastante complicados. Al doctor Mateo López Victoria, por su apoyo y gestión administrativa cuando tuve problemas en la matrícula académica y financiera y también por haber sido director en mi anterior trabajo de grado que no pudo ser terminado debido a problemas metodológicos. A la profesora Leidy Julieth Salamanca Canizales y a los estudiantes Kelly Johanna Arboleda Grueso y Rubiel Ocampo Osorio por abrirme las puertas de la UCEVA y permitirme y ayudarme a realizar parte de mi trabajo en sus instalaciones. Por último, quiero agradecerle a mis compañeras, amigas y futuras colegas Sabrina Mur Albear y Maria Gabriela Quirama Molina, por su preocupación, apoyo y compañía, a Angie

Valeria Quiñonez Olaya por su ayuda en este trabajo y a mis demás compañeros y personas que hicieron parte de este largo proceso de más de cinco años.

CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	13
3. METODOLOGÍA.....	14
4. RESULTADOS.....	17
4.1 Diferencias acústicas entre especies.....	17
4.2 Actividad de la colmena.....	18
4.3 Diferencias acústicas según la temperatura.....	19
5. DISCUSIONES.....	21
6. CONCLUSIONES.....	22
7. BIBLIOGRAFÍA.....	23
8. ANEXOS.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Georreferenciación de PUJ Cali.....	14
Figura 2. Ubicación de la colmena de <i>T. angustula</i>	14
Figura 3. Colmena objetivo de <i>T. angustula</i>	15
Figura 4. Dispositivo celular tomando datos.....	15
Figura 5. Ventana principal de Raven Pro señalando los seis armónicos de la señal en el espectrograma, el tiempo en el que inició y el tiempo en el que finalizó la señal y la frecuencia fundamental.....	15
Figura 6. Colmena de <i>T. angustula</i> UCEVA.....	16
Figura 7. Colmena de <i>Nannotrigona sp</i>	16
Figura 8. Frecuencias (Hz) de <i>T. angustula</i> UCEVA.....	17
Figura 9. Frecuencias (Hz) <i>Nannotrigona sp</i> . Parque del Perro.....	18
Figura 10. Duración de la señal (s) <i>T. angustula</i> UCEVA vs. <i>Nannotrigona sp</i>	18
Figura 11. Número de registros acústicos <i>T. angustula</i> PUJ Cali comparado por horas.....	19
Figura 12. Frecuencias (Hz) <i>T. angustula</i> PUJ Cali 06:00 h.....	19

Figura 13.	Frecuencias (Hz)	<i>T. angustula</i>	PUJ	Cali	12:00 h.....	20
Figura 14.	Frecuencias (Hz)	<i>T. angustula</i>	PUJ	Cali	17:00 h.....	20
Figura 15.	Duración de la señal (s) <i>T. angustula</i> PUJ Cali 06:00 h vs. 12:00 h vs. 17:00 h.....					21

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Frecuencia de datos <i>T. angustula</i> UCEVA.....					17
Tabla 2.	Frecuencia de datos <i>Nannotrigona sp.</i> Parque del Perro.....					18
Tabla 3.	Frecuencia de datos	<i>T. angustula</i>	PUJ	Cali	06:00 h.....	19
Tabla 4.	Frecuencia de datos	<i>T. angustula</i>	PUJ	Cali	12:00 h.....	20
Tabla 5.	Frecuencia de datos	<i>T. angustula</i>	PUJ	Cali	17:00 h.....	20

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Código de RStudio utilizado para obtener las medias, la desviación estándar, frecuencia de los datos y graficas

Anexo 2. Frecuencias (Hz) *T. angustula* UCEVA

Anexo 3. Frecuencias (Hz) *Nannotrigona sp.* Parque del Perro

Anexo 4. Duración de la señal (s) de *T. angustula* UCEVA y *Nannotrigona sp.*

Anexo 5. Frecuencias (Hz) de *T. angustula* PUJ Cali 06:00 h

Anexo 6. Frecuencias (Hz) de *T. angustula* PUJ Cali 12:00 h

Anexo 7. Frecuencias (Hz) de *T. angustula* PUJ Cali 17:00 h

Anexo 8. Duración de la señal (s) de *T. angustula* PUJ Cali 06:00, 12:00 y 17:00 h

Anexo 9. Duración de la señal (s) de *T. angustula* PUJ Cali 06:00 h

Anexo 10. Duración de la señal (s) de *T. angustula* PUJ Cali 12:00 h

Anexo 11. Duración de la señal (s) de *T. angustula* PUJ Cali 17:00 h

Anexo 12. Tabla de Excel con el número de registros encontrados en cada grabación con el error estándar y la gráfica

Anexo 13. Frecuencias (Hz) de *T. angustula* PUJ Cali 06:00, 12:00 y 17:00 h

Anexo 14. Diagrama de cajas y bigotes de la frecuencia (Hz) de *T. angustula* PUJ Cali 06:00, 12:00 y 17:00 h..... 26

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 claves: 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 variable

1. INTRODUCCIÓN

Los insectos son los animales polinizadores más importantes, responsables de la polinización de alrededor del 70% de las angiospermas (Schoonhoven et al., 1998). Los antófilos (abejas) son un clado de artrópodos del orden Hymenoptera, siendo el grupo de insectos polinizadores más importante y especializado (Michener, 2000). Las comunidades de abejas y su eficiencia en la polinización se han visto afectadas por cambios en la estructura y composición florística producto de la deforestación de selvas y bosques, expansión de fronteras agropecuarias el crecimiento turístico y urbano generando la fragmentación de los ecosistemas (Steffan-Dewenter et al., 2005).

La tribu Meliponini es un clado de abejas eusociales que agrupa 24 géneros (130 spp.), abarca a aquellas especies las cuales carecen de agujón, polinizadoras de flora tropical por excelencia. Se encuentran, en su gran mayoría, en Centro y Sur América, sin embargo, se distribuyen por todas las áreas tropicales del mundo. En particular, en Colombia, se encuentran desde los 0 hasta los 2.600 msnm. Suelen habitar en cavidades de rocas, troncos huecos, agujeros subterráneos e incluso en zonas totalmente expuestas (Nates-Parra, 2001; Nates & Villa, 1989; Nates et al., 2021).

De los 24 géneros de abejas sin aguijón que existen, uno de ellos es el género *Tetragonisca* (Nates 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). Sin embargo, posiblemente por distribución, *T. buchwaldi*, se encuentra en el Pacífico Colombiano y, por análisis moleculares y de hibridización, algunos autores sugieren que *T. fiebrigi* es una sub especie de *T. angustula* (Francisco et al., 2013).

T. angustula, en Colombia, habita en todas las regiones en latitudes comprendidas desde los 100 hasta los 1800 msnm (Nates-Parra, 2001). Suele nidificar en ecosistemas naturales, urbanos y agrarios, ya sea en zonas subterráneas, cajones, troncos, paredes, bancas de parques, postes de cemento, jardines, el suelo, entre otros. El objetivo de nidificar en zonas cubiertas es una estrategia de defensa (Moreno y Cardozo, 1999; Vélez Ruiz et al., 2013). 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).

Esta abeja tiene hábitos generalistas, lo que significa que extrae recursos de diferentes especies vegetales (Obregón et al., 2013). La temperatura ambiental influye directamente en sus actividades, generando que las actividades de forrajeo se vean alteradas dependiendo de la época del año y la variación de las condiciones climáticas. En invierno, se registraron unos picos de actividad para *T. angustula* hacia las 13:00h., mientras que en verano se registraron hacia las 08:00h., además, la cantidad de abejas obreras forrajeras era mayor en invierno con respecto al verano. Puede que esto sea en respuesta a una mayor cantidad de especies vegetales de flor pequeña en esa época del año (López-Nanzer, 2017).

T. angustula tiene un ciclo de desarrollo que puede variar desde los 33,5 hasta los 40,3 días con un promedio de 36,5 días desde la puesta del huevo hasta que sale el adulto. Esa variabilidad en la duración del ciclo, depende de la cantidad de abejas que hacen falta por eclosionar en el panal; debido a que, según van naciendo los individuos, las obreras van destruyendo las celdas (Nates-Parra et al., 1989).

Las abejas obreras son las que se encargan de construir y proveer cada celda con una mezcla viscosa de polen y miel donde posteriormente la reina depositará un huevo por celda. Después de ser depositado el huevo en la celda (eclosiona a los 6 días), las obreras acompañantes proceden a tapar la celda, lo que genera que todas las fases de desarrollo (eclosión de la larva, pre-pupa, pupa, imago y formación como adulto) se produzcan con la celda cerrada. Las abejas cuando nacen, presentan todos los rasgos morfológicos idénticos a las de una abeja adulta, a excepción de la pigmentación, la cual es completamente blanca exceptuando las patas y los ojos (Nates-Parra et al., 1989).

Al igual que el resto de animales, los insectos cuentan con estructuras especializadas para detectar otros animales como depredadores, presas, competidores o compañeros. Para oír, ver, oler o detectar la presencia de otros, usan los órganos auditivos, ojos, órganos olfativos y propioceptores internos y pelos cuticulares que generalmente se localizan en apéndices especializados como antenas o cercos (Michelsen & Larsen, 1985).

Debido a que las abejas sin aguijón poseen depredadores interesados en las crías y en robar los alimentos que han almacenado, han desarrollado mecanismos de defensa que van desde huir y cerrar los nidos, hasta ataques de las obreras guardianes mediante mordiscos, resinas e incluso el uso de sustancias cáusticas, como lo hace el género *Oxytrigona* (Michener, 1974; Nates-Parra & Cepeda, 1983). Precisamente, la primera especie de meliponinos en donde se observaron soldados hembra es en *T. angustula*, las cuales protegen al nido y presentan diferencias morfológicas del resto de obreras por ser más grandes que las forrajeras, 30% más pesadas, cabeza más pequeña, patas más largas y por tener unas antenas más sensibles para la detección de intrusos (Grüter et al., 2017; Grüter et al., 2012).

Las abejas usan un complejo lenguaje 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). Las abejas *Apis mellifera* realizan un sonido característico producto del movimiento de sus alas, presentando frecuencias entre los 200 y 600 Hz, a pesar de que se han

reportado frecuencias de hasta 6,8 kHz (Esch & Wilson, 1967). Aunque estas frecuencias pueden ser diferentes dependiendo de las perturbaciones que esté sufriendo el exterior o la propia colmena (Bromenshenk et al., 2009; Brundaje, 2010). También, las señales vibroacústicas que producen las abejas regulan y modifican el comportamiento de la colonia. Así, se pueden evidenciar la estrecha relación entre las frecuencias y amplitudes de las señales vibroacústicas y diferentes eventos como los enjambres (Zlatkova et al., 2020; Žgank, 2018).

Las nuevas tecnologías para monitorear e identificar especies prometen métodos más económicos y versátiles impulsando los esfuerzos de conservación (Pimm et al., 2015). La metodología actual por lo general demanda equipos complejos y costosos para estudios como la biotelemetría (Cooke et al., 2004), bioacústica (Merchant et al., 2015), rastreo GPS (Kays et al., 2015), entre otros.

El monitoreo acústico de animales ha tomado mucha fuerza abriendo muchas puertas en el estudio de organismos que son sensibles acústicamente (Van Parijs et al., 2009; Blumstein et al., 2011). Estos estudios confirman el papel fundamental de los sonidos para diversos ecosistemas y especies, los cuales se encuentran en diversos procesos como en interacciones depredador-presa (Remage-Healey et al., 2006), comportamiento coordinado (Boinski & Campbell, 1995) y asentamiento de larvas (Simpson et al., 2005).

Actualmente encontramos gran variedad de dispositivos registradores acústicos. Estos dispositivos los podemos clasificar como plataformas fijas que están diseñadas para tomar datos en un solo lugar durante periodos de tiempo muy largos y plataformas móviles que son portátiles, pueden ser usadas mientras están en movimiento y generalmente se usan por cortos periodos de tiempo (Merchant et al., 2015). Dentro de las plataformas fijas encontramos modelos como el SM2+, SM3, AMAR G3, DSG-ST, SoundTrap 202HF y el SM3M. Por otro lado, en las plataformas móviles, encontramos los sonómetros comerciales, realizando medidas calibradas del SPL (nivel de presión sonora) (Merchant et al., 2015).

A pesar de que en el mercado se encuentra gran variedad dispositivos registradores acústicos estandarizados para estudios en bioacústica, estos suelen ser costosos o muy delicados, sin embargo, este trabajo realiza una propuesta metodológica la cual pretende impulsar nuevos

estudios para que sean elaborados con metodologías enfocadas hacia el uso de dispositivos de fácil acceso como celulares.

En este trabajo se exploran métodos sencillos para estudiar las respuestas acústicas de la abeja angelita, caracterizando los sonidos de la colmena. Al final, a través de los métodos desarrollados se evaluará los cambios de sonidos en la colmena en respuesta a cambios ambientales permitiéndonos realizar estudios ecológicos, etológicos, impulsar estrategias de conservación, realizar muestreos, entre otros.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Aplicar una metodología sencilla para medir cambios acústicos en las abejas *Tetragonisca angustula* en relación con estímulos ambientales.

2.2 Objetivos específicos

- 2.2.1 Desarrollar métodos sencillos para medir las señales acústicas de las colonias de abejas meliponinas.
- 2.2.2 Determinar en qué horario hay mayor actividad en la colmena de *Tetragonisca angustula*.
- 2.2.3 Evaluar la influencia de las variables ambientales en los sonidos emitidos por la abeja angelita *Tetragonisca angustula*.

3. METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la colmena de *T. angustula* ubicada entre la cara externa de la pared derecha 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.

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



Figura 1. Georreferenciación de PUJ Cali.

Tomado de:

<https://www.google.com/maps/place/3.3477089290623327,%20-76.53176428016833>

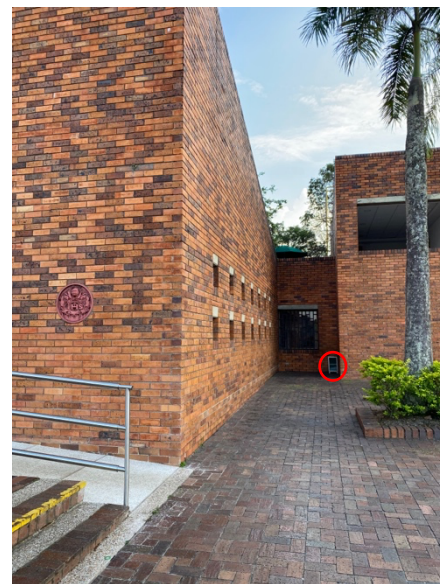


Figura 2. Ubicación de la colmena de *T. angustula*

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. 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. Posteriormente, los audios fueron analizados como

espectrogramas en el software Raven Pro donde se realizó el conteo de armónicos (variaciones de las frecuencias organizadas en el rango de emisión (espectrograma)), se halló la frecuencia fundamental (frecuencia del primer armónico) y la duración en segundos de cada armónico y estos datos fueron procesados en RStudio y Microsoft Excel.



Figura 3. Colmena objetivo de *T. angustula* PUJ Cali



Figura 4. Micrófono del dispositivo celular tomando datos a ≈ 2 cm de la colmena

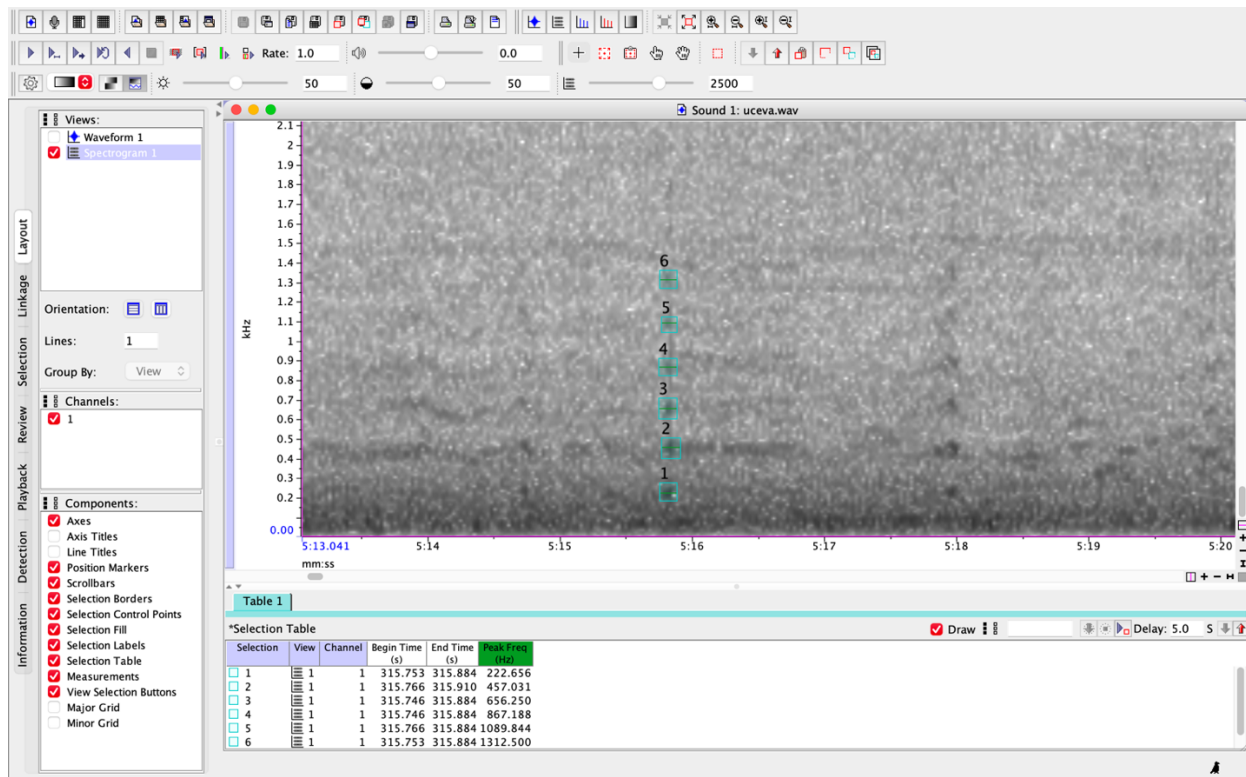


Figura 5. Ventana principal de Raven Pro señalando los seis armónicos de la señal en el espectrograma, el tiempo en el que inició y el tiempo en el que finalizó la señal y la frecuencia fundamental.

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 6. Colmena de *T. angustula*
UCEVA



Figura 7. 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 (donde las temperaturas eran aún bajas), 12:00 (hora del día donde se asumió que la temperatura sería la más alta) y 17:00 horas (se asumió que la temperatura era intermedia entre las 06:00 y 12:00 horas). Durante este tiempo se realizaron grabaciones de la colmena y se caracterizó el número de eventos acústicos, la diferencia en las frecuencias y duración de cada uno de los eventos para cuantificar los patrones del espectrograma que emiten diferentes especies.

4. RESULTADOS

4.1 Diferencias acústicas entre especies

Con una muestra de 60 señales registradas, se encontró que *T. angustula* de la UCEVA (Figura 8) emite señales con una duración promedio de 0,2409 s, la frecuencia fundamental en promedio es de 213,7 Hz, la frecuencia que más se repite es 222,656 Hz (Tabla 1) y las señales cuentan, en promedio, con seis (6) armónicos.

FRECUENCIA (HZ)	CONTEO
164,062	1
187,500	9
199,219	1
210,938	20
222,656	22
234,375	6
246,094	1
TOTAL	60

Tabla 1. Frecuencia de datos
T. angustula UCEVA

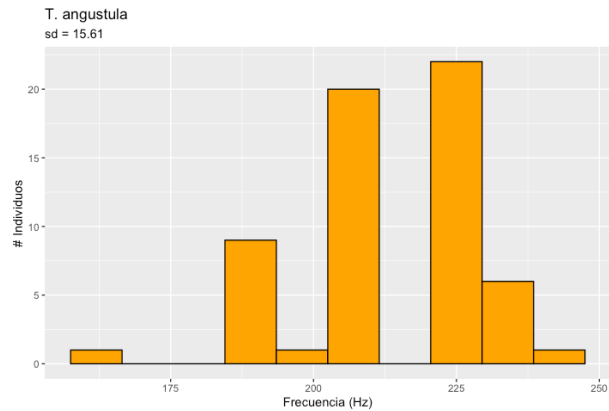


Figura 8. Frecuencias (Hz) de *T. angustula* UCEVA

Para hacer un comparativo de cómo se comporta *T. angustula* versus *Nannotrigona sp.*, se tomó una muestra de 60 señales acústicas de *Nannotrigona sp.* (Figura 9) 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 (Tabla 2) y con un promedio de cinco (5) armónicos por cada señal registrada. 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 dura la señal. Se observó que *Nannotrigona sp.* tiene una duración de la señal más corta, mientras *T. angustula* presentó duraciones más largas (Figura 10). Las diferencias en tiempos fueron estadísticamente diferentes a través de un prueba de t (DF: 1; $t = 232.1$ $P < 2e-16$ ***).

FRECUENCIA (HZ)	CONTEO
164,062	1
175,781	4
187,500	20
199,219	25
210,938	8
222,656	2
TOTAL	60

Tabla 2. Frecuencias de datos *Nannotrigona sp.* Parque del Perro

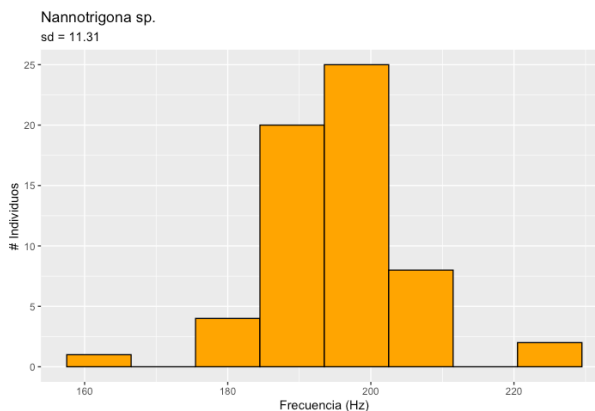


Figura 9. Frecuencias (Hz) *Nannotrigona sp.* Parque del perro

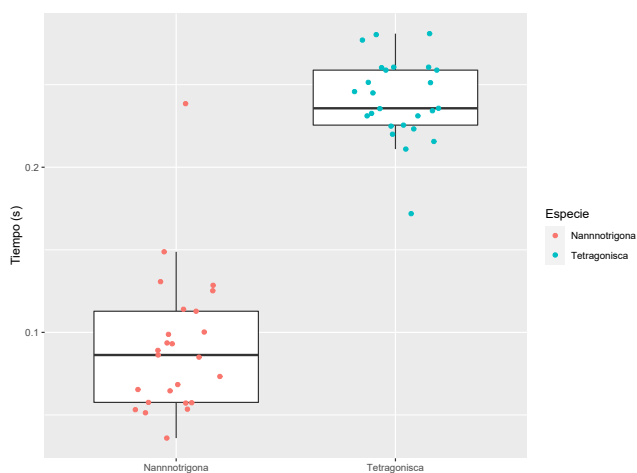


Figura 10. Duración de la señal (s) *T. angustula* (UCEVA) vs. *Nannotrigona sp.*

4.2 Actividad en la colmena

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 registros y 104 registros respectivamente. Mientras que, para las 06:00 h, se encontró la menor actividad con 23 registros (Figura 11). Estas diferencias en número de registros fueron estadísticamente diferentes a través de un análisis de varianza ($F=7.648$ $P=0.0032$ **).

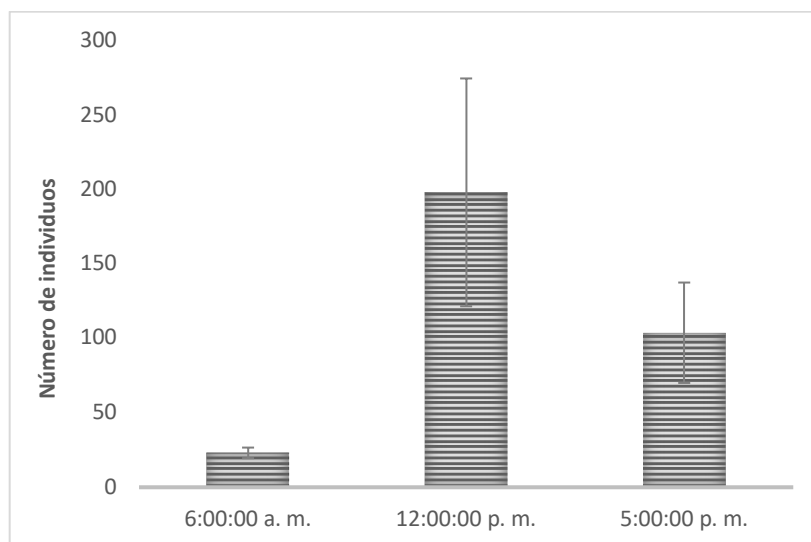


Figura 11. Número de registros acústicos *T. angustula* PUJ Cali comparado por horas

4.3 Diferencias acústicas según la temperatura

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 de las señales (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 12), 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 (Tabla 3). Además, la duración promedio de la señal es de 0,1912 s.

FRECUENCIA (HZ)	CONTEO
164,062	2
175,781	10
187,500	32
199,219	19
210,938	17
222,656	3
234,375	1
TOTAL	84

Tabla 3. Frecuencias de datos *T. angustula* PUJ Cali 06:00 h

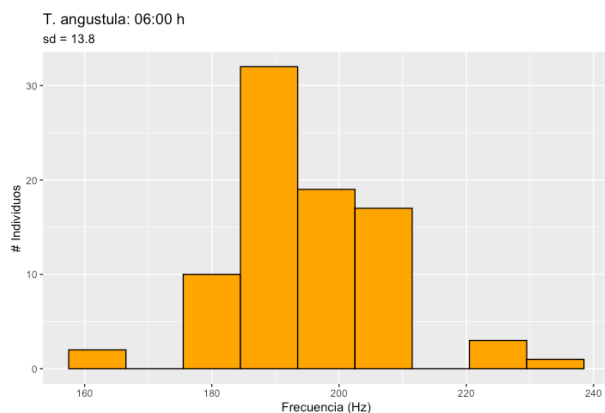


Figura 12. Frecuencias (Hz) *T. angustula* PUJ Cali 06:00 h

Para las 12:00 h (Figura 13), 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 (Tabla 4). Mientras que la duración promedio de sus señales es de 0,2629 s.

FRECUENCIA (HZ)	CONTEO
187,500	11
199,219	45
210,938	122
222,656	89
234,375	70
246,094	22
TOTAL	359

Tabla 4. Frecuencias de datos *T. angustula* PUJ Cali 12:00 h

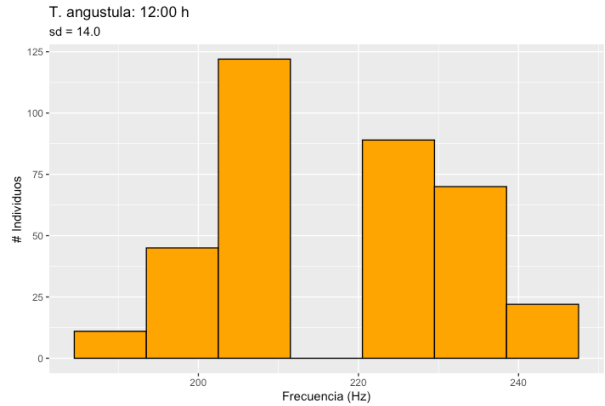


Figura 13. Frecuencias (Hz) *T. angustula* PUJ Cali 12:00 h

Para las 17:00 h (Figura 14), 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 (Tabla 5) contando con una duración de la señal promedio de 0,2986 s.

FRECUENCIA (HZ)	CONTEO
187,500	16
199,219	63
210,938	121
222,656	105
234,375	30
246,094	3
TOTAL	338

Tabla 5. Frecuencias de datos *T. angustula* PUJ Cali 17:00 h

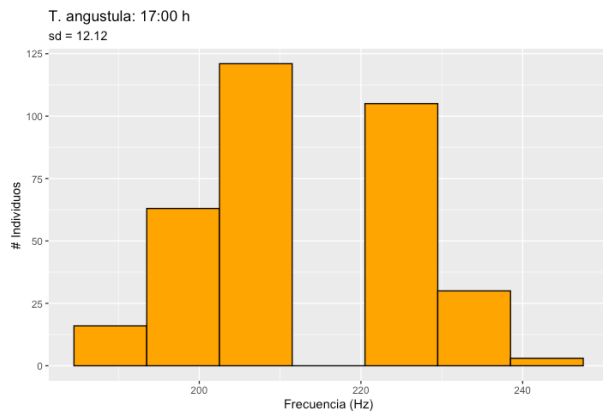


Figura 14. Frecuencias (Hz) *T. angustula* PUJ Cali 17:00 h

A través de un análisis de varianza, los tiempos de duración de la señal evaluados en una submuestra de *T. angustula* (Figura 15) presentan diferencias significativas (DF=2, F=5.76,

P=0.0041). Además, a través de una prueba de comparación de medias de Turkey, se encontró que la principal diferencia es esta entre las 06:00 h y las 17:00 h ($p=0.0031$).

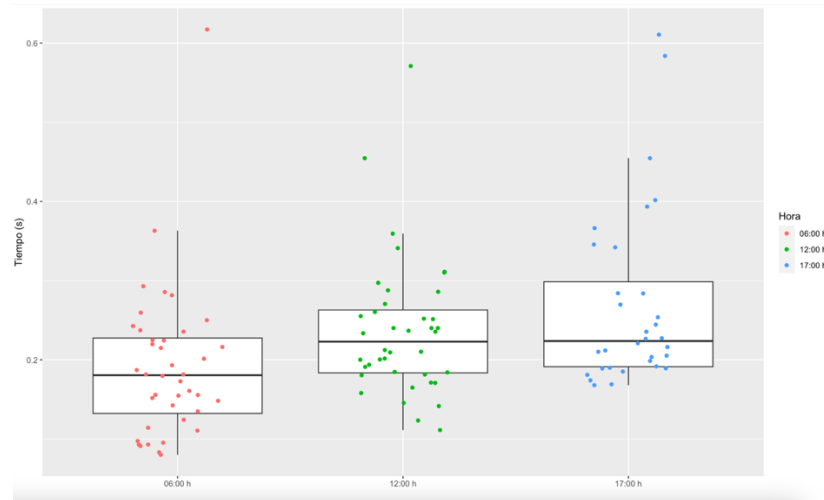


Figura 15. Duración de la señal (s) *T. angustula* PUJ Cali 06:00 h vs. 12:00 h vs. 17:00 h

5. DISCUSIONES

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.

6. 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.

7. BIBLIOGRAFÍA

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/

Boinski, S. & Campbell, A.F. (1995) Use of trill vocalizations to coordinate troop movement among white-faced capuchins: a second field test. *Behaviour* **132**, 875–901.

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.

Bromenshenk, Jerry J.; Henderson, Colin B.; Seccomb, Robert A.; Rice, Steven D.; Etter, Robert T. *Honeybee acoustic recording and analysis system for monitoring hive health*. 06 2009

Brundage, Trenton J. *Acoustic sensor for beehive monitoring*. 03 2010

Camargo J.M.F., Pedro S.R.M. 2013. Meliponini Lepeletier, 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](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.

Esch, Harald; Wilson, Donald: The sounds produced by flies and bees. En: *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 54 (1967), p. 256–267. – 10.1007/BF00298031. – ISSN 0340–7594

Francisco F., Santiago L., Brito R., Oldroyd B., Arias M. 2013. *Hybridization and asymmetric introgression between *Tetragonisca angustula* and *Tetragonisca fiebrigi**. *Apidologie* 45(1):1-9. doi 10.1007/s13592-013-0224-7. hal-01234701

Grüter Ch., Menezes C., Imperatriz-Fonseca V.L., Ratnieks F.L.W. 2012. A morphologically specialized soldier caste improves colony defense in a Neotropical eusocial bee. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(4):1182-6. doi:10.1073/pnas.1113398109.

Grüter Ch., Segers F.H., Menezes C., Vollet-Neto A., Falcón T., von Zuben L., Bitondi M.M., Nascimento F.S., Almeida E.A. 2017. *Repeated evolution of soldier sub-castes suggests parasitism drives social complexity in stingless bees*. *Nature Communications* 8(1):1-7. doi: 10.1038/s41467-016-0012-y

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.

Lopez-Nanzer S.L. 2017. *Atividade de forrageamento das abelhas sem ferrão *Tetragonisca angustula* e *Melipona quadrifasciata* (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, Larsen ON (1985) Hearing and sound. In: Kerkut GA, Gilbert LI (eds) *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology*. Oxford: Pergamon Press, Vol. 6, pp. 495-556.

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.

Michener CD. *The Bees of the World*. Baltimore: Johns Hopkins Univ Press. 2000.

Moreno F., Cardozo A.F. 1999. *Caracterización de colonias de abejas sin aguijón (*Trigona (Tetragonisca) angustula*) en construcciones urbanas de Guanare, Venezuela*. *Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología*.14(2):55-63.

Nates-Parra G, Cepeda O. 1983. *Comportamiento defensivo en algunas especies de Meliponinos colombianos (Hymenoptera: Meliponinae)*. *Boletín del Departamento de Biología*. Universidad Nacional de Colombia1(5):65-82.

Nates-Parra G., Villa A., Vergara C. 1989. Ciclo de desarrollo de Trigona (Tetragonisca) angustula, Latreille 1811 (Hymenoptera, Trigonini). *Acta Biológica Colombiana* 1(5):91-98

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.

Nates-Parra, Guiomar & Brochero, Helena & García-Morantes, Jenny & Velásquez-Molano, Mabel & Hernández-Contreras, Diego & Brochero, Javier & Rojas, Daniela & Chingaté, Erika & Martínez, Elizabeth & Vargas, Jose. (2021). La abeja angelita *Tetragonisca angustula*: biología, ecología, genética y potencial mercado de su miel en Colombia.

Obregón D., Rodríguez C. A, Chamorro F. J., Nates-Parra G. 2013. *Botanical origin of pot-honey from Tetragonisca angustula Latreille in Colombia*. En P. Vit et al. (eds.), *Pot-Honey: A legacy of stingless bees*: 337- 43. Springer Science+Business Media New York. doi 10.1007/978-1-4614-4960-7_23

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.

Remage-Healey, L., Nowacek, D.P. & Bass, A.H. (2006) Dolphin foraging sounds suppress calling and elevate stress hormone levels in a prey species the Gulf toadfish. *Journal of Experimental Biology* **209**, 4444–4451.

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.

Schoonhoven LM, Jermy T, van Loon JJA. *Insect-Plant Biology: From Physiology to Evolution*. London: Chapman & Hall. 1998.

Simpson, S.D., Meekan, M., Montgomery, J., McCauley, R. & Jeffs, A. (2005) Homeward sound. *Science* **308**, 221.

Steffan-Dewenter, I., S.G. Potts and L. Packer, *Pollinator diversity and crop pollination services are at risk*, *Trends Ecol. Evol.* 2005, 20: 651–652.

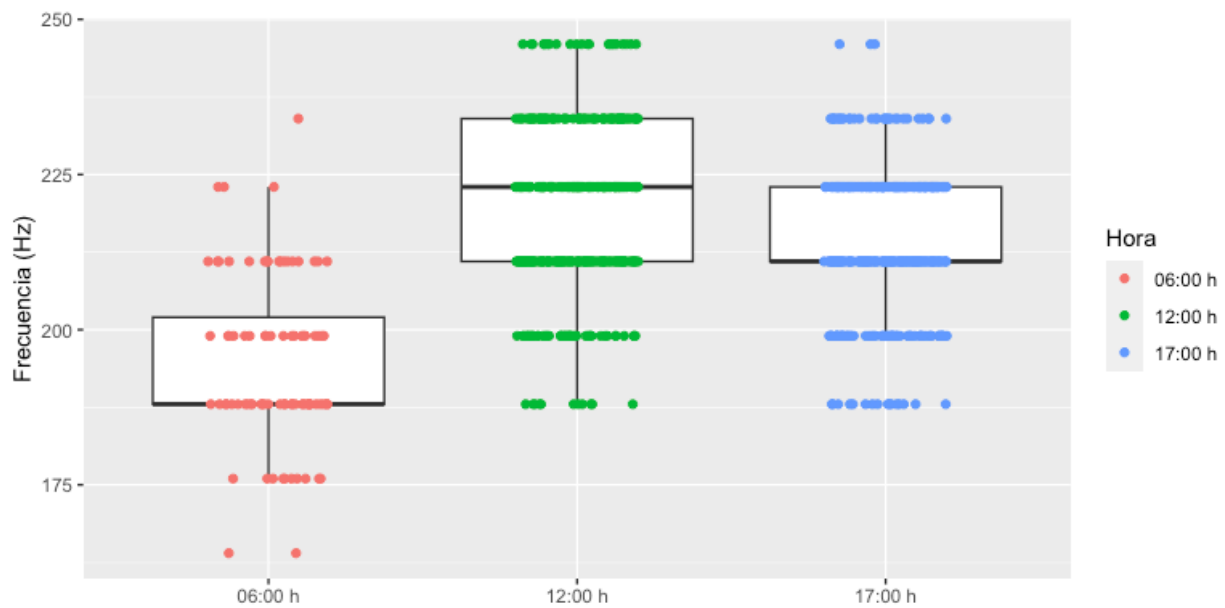
Van Parijs, S.M., Clark, C.W., Sousa-Lima, R.S., Parks, S.E., Rankin, S., Risch, D. & Van Opzeeland, I.C. (2009) Management and research applications of real-time and archival passive acoustic sensors over varying temporal and spatial scales. *Marine Ecology Progress Series* **395**, 21–36.

Vélez-Ruiz R.I., González V.H., Engel M.S. 2013. *Observations on the urban ecology of the Neotropical stingless bee Tetragonisca angustula (Hymenoptera: Apidae: Meliponini)*. *Journal of Melittology* 15:1–8

Zlatkova, A.; Kokolanski, Z.; Tashkovski, D. *Honeybees swarming detection approach by sound signal processing*. In Proceedings of the 2020 XXIX International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 16–18 September 2020; pp. 1–3.

Žgank, A. *Acoustic monitoring and classification of bee swarm activity using MFCC feature extraction and HMM acoustic modeling*. In Proceedings of the 2018 ELEKTRO, Mikulov, Czech Republic, 21–23 May 2018; pp. 1–4.

8. ANEXOS



Anexo 14. Duración de la señal (s) *T. angustula* PUJ Cali 06:00 h vs. 12:00 h vs. 17:00 h