



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

---

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE UNIDAD  
XOCHIMILCO

RIQUEZA DE ESPECIES DE QUIRÓPTEROS EN  
CICS-UMA-IPN POR MEDIO DE REGISTROS ULTRASÓNICOS

SERVICIO SOCIAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

HÉCTOR HUGO GUADARRAMA FLORES

MATRICULA: 2162033081

Asesor Externo  
Dr. Rafael Ávila Flores

Ced. Prof. (03207073)  
Profesor-investigador Titular A  
de T.C. División Académica de  
Ciencias Biológicas Universidad  
Juárez Autónoma de Tabasco

Asesor interno  
Dra. Claudia Irais Muñoz  
García

Nº económico (36943)  
Profesora Titular C, tiempo  
completo. Departamento de  
producción Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metro-  
politana

Ciudad de México, México, Octubre, 2022.

## *Resumen*

Las áreas naturales permiten la persistencia de poblaciones animales en las inmediaciones de los grandes centros urbanos. En la Ciudad de México, las más extensas áreas de conservación están ubicadas al sur y poniente de la ciudad y están conformadas por fragmentos de bosque templado inmersos en una matriz de pastizales naturales e inducidos. Por lo tanto, en este trabajo, el objetivo fue estimar la riqueza de especies de murciélagos insectívoros aéreos en un campus universitario ubicado en la interfaz urbano-forestal de la Ciudad de México. Para cumplir con el objetivo, utilizamos un detector ultrasónico portátil para obtener grabaciones mensuales de 5 minutos durante un año, en 10 puntos ubicados en el interior y en la periferia del Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud del IPN Unidad Milpa Alta. Para identificar las especies, los llamados fueron clasificados en sonotipos en función de sus parámetros de frecuencia y tiempo. La clasificación de sonotipos fue evaluada mediante un análisis de función discriminante. Y por último, se utilizaron datos publicados como referencia para asignar la especie de cada sonotipo. Los resultados que obtuvimos, fue la identificación de cuatro sonotipos correspondientes a dos familias, Vespertilionidae y Molossidae. Los sonotipos fueron asignados a tres especies: *Tadarida brasiliensis*, Molosido1 (solo se obtuvo la taxonomía a nivel familia), *Myotis velifer* y *Lasiurus cinereus*. Aunque todas las especies estuvieron presentes a lo largo del año en el área de estudio, sus niveles de actividad fluctuaron notablemente entre temporadas. La riqueza de especies es menor a la reportada en estudios previos para áreas urbanizadas de la Ciudad de México. No obstante, los registros podrían mejorar si las fluctuaciones temporales pudieron estar asociadas a procesos de hibernación y migración de cada especie.

Palabras clave: Ciudad de México, Detección acústica, Ecología urbana, Molossidae, Vespertilionidae.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. Revisión de la literatura</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1. Ecolocalización . . . . .   | 4         |
| 2.2. Identificación de especies y riqueza de especies por medio de pulsos ultrasónicos . . . | 5         |
| <b>3. Objetivo general</b>   | <b>6</b>  |
| 3.1. Objetivos particulares . . . . .  | 6         |
| <b>4. Area de estudio</b>  | <b>7</b>  |
| <b>5. Metodología</b>  | <b>8</b>  |
| 5.1. Grabación de pulsos ultrasónicos . . . . .  | 8         |
| 5.2. Procedimientos para el análisis de espectrogramas (Sonogramas) . . . . .                | 9         |
| 5.3. Análisis estadístico . . . . .  | 9         |
| 5.4. Aspectos éticos . . . . .   | 10        |
| <b>6. Resultados</b>   | <b>10</b> |
| 6.1. Caracterización acústica . . . . .  | 11        |
| 6.1.1. Familia Molosidae . . . . .   | 11        |
| 6.1.2. Familia Vespertilionidae . . . . .  | 11        |
| 6.2. Análisis estadístico descriptivo . . . . .  | 12        |
| 6.3. Análisis multivariable . . . . .  | 13        |
| <b>7. Discusión</b>  | <b>15</b> |
| <b>8. Conclusión</b>   | <b>18</b> |
| <b>9. Bibliografía</b>   | <b>19</b> |
| <b>10. Anexo</b>   | <b>26</b> |
| 10.1. Molosido . . . . .   | 27        |
| 10.2. Molosido1 . . . . .  | 30        |
| 10.3. Vesper1 . . . . .  | 34        |
| 10.4. Vesper2 . . . . .  | 39        |
| 10.5. Otros sonotipos registrados . . . . .  | 43        |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| 1. Sitio de obtención de pulsos ultrasónicos . . . . .                               | 7  |
| 2. Cantidad de grabaciones por mes de pulsos ultrasónicos de cada Sonotipo . . . . . | 13 |
| 3. Análisis de función discriminante lineal . . . . .                                | 15 |
| 4. Molosido . . . . .  | 27 |
| 5. Molosido . . . . .  | 28 |
| 6. Molosido . . . . .  | 28 |
| 7. Molosido . . . . .  | 29 |

|     |                          |    |
|-----|--------------------------|----|
| 8.  | Molosido . . . . .       | 30 |
| 9.  | Molosido1 . . . . .      | 31 |
| 10. | Molosido1 . . . . .      | 32 |
| 11. | Molosido1 . . . . .      | 32 |
| 12. | Molosido1 . . . . .      | 33 |
| 13. | Molosido1 . . . . .      | 34 |
| 14. | Vesper1 . . . . .        | 35 |
| 15. | Vesper1 . . . . .        | 36 |
| 16. | Vesper1 . . . . .        | 37 |
| 17. | Vesper1 . . . . .        | 38 |
| 18. | Vesper1 . . . . .        | 39 |
| 19. | Vesper2 . . . . .        | 40 |
| 20. | Vesper2 . . . . .        | 41 |
| 21. | Vesper2 . . . . .        | 42 |
| 22. | Vesper2 . . . . .        | 43 |
| 23. | Vocalizaciones . . . . . | 44 |
| 24. | Vocalizaciones . . . . . | 45 |
| 25. | Vocalizaciones . . . . . | 46 |
| 26. | Vocalizaciones . . . . . | 47 |
| 27. | Vocalizaciones . . . . . | 48 |

## Índice de cuadros

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | Medias y desviación estándar de los atributos de los pulsos para los cuatro Sonotipos clasificados . . . . . | 11 |
| 2. | Coefficiente de variación de los parámetros cuantitativos de los pulsos de cada Sonotipo                     | 12 |
| 3. | Matriz de confusión . . . . .  | 14 |



# 1. Introducción

El orden Chiroptera es el segundo grupo más diverso y abundante de mamíferos en todo el mundo. De ellos se conocen alrededor de 1400 especies diferentes (Voigt y Kingston, 2016), de las cuales, en México se han registrado 138 (Arroyo-Cabrales y Ceballos, 2012; Medellín *et al.*, 2008; Sánchez-Cordero *et al.*, 2014). La diversidad de murciélagos de nuestro país se puede entender por su geografía, historia geológica y topografía accidentada de México, que da lugar a dos regiones biogeográficas: neártica y neotropical. Estas dos regiones convergen en la Franja Volcánica Transmexicana, creando un mosaico diverso de condiciones ambientales y microambientes que proveen a los ecosistemas con una variedad de recursos tróficos que favorecen la diversificación de los quirópteros (Bárceñas y Legorreta, 2007; Sarukhán *et al.*, 2015; Toledo y Ordonez, 1998).

La Ciudad de México ubicada en una cuenca al norte de la Franja Volcánica Transmexicana, es de las urbes más grandes en el mundo y, por lo tanto, con una importante influencia económica, política y académica (Hortelano-Moncada y Cervantes, 2011; Navarro-Frías *et al.*, 2007; ONU-Habitat, 2018). En la Ciudad de México se han reportado 33 diferentes especies de murciélagos (Hortelano-Moncada *et al.*, 2016) y casi la mitad de ellas (14 especies) se han localizado en la alcaldía de Milpa Alta (Navarro-Frías *et al.*, 2007).

Milpa Alta es una alcaldía semi-rural ubicada en la periferia del área metropolitana de la Ciudad de México. Es una demarcación territorial que conserva áreas con vegetación nativa, por su cercanía con el corredor biológico Chichinautzin, y es de las pocas zonas de la Ciudad de México que por sus características puede albergar a diferentes especies de mamíferos silvestres (Navarro-Frías *et al.*, 2007). En el contexto de la perturbación antrópica que producen las ciudades, los paisajes rurales y naturales que sobreviven en los suburbios, como es el caso de Milpa Alta, pueden servir como laboratorios vivos en donde se encontrarían representadas algunas de las especies de flora y fauna que precedieron a los ambientes urbanizados.

Los murciélagos tienen una enorme diversidad trófica y aunque la mayoría de las especies se alimentan de insectos, también hay especies frugívoras, granívoras, nectarívoras, ictiófagas, hema-

tófagas y carnívoras (Fenton *et al.*, 1992; Simmons, 2005; Voigt y Kingston, 2016). Sus hábitos alimenticios generan diversas funciones dentro de los ecosistemas y por ende, una variedad de servicios ecológicos como el control de plagas de insectos en sistemas agrícolas y bosques (Avila-Flores y Fenton, 2005; Jung y Kalko, 2011; Kalka *et al.*, 2008), polinización (Bumrungsri *et al.*, 2009), dispersión de semillas (Kunz *et al.*, 2003; Simmons y Conway, 2005) y además, son indicadores de la perturbación al ambiente y fragmentación del hábitat (Medellín *et al.*, 2000; Medellín y Viquez-R, 2014).

A pesar de que los murciélagos proveen de beneficios a los ecosistemas en los que habitan, las actividades económicas humanas hacen que se enfrenten a presiones que ponen en riesgo su sobrevivencia. A la mitad del siglo XX, más de una tercera parte de México ha sido transformada en zonas para la explotación maderera, agrícola, ganadera y expansión de la frontera (Challenger y Dirzo, 2009; Foley, 2005; UN, 2014). Este cambio de uso de suelo, acelerado por actividades productivas, tiene implicaciones sobre el ciclo de vida de los murciélagos. Por ejemplo, el uso de pesticidas que controla plagas de insectos en los sistemas agrícolas, perjudica no solo en la cantidad de alimento disponible para los murciélagos insectívoros, sino que además les produce intoxicaciones (O'Shea y Johnston, 2009). Otro problema es la perturbación y destrucción de su hábitat natural por la expansión de las actividades humanas (Voigt y Kingston, 2016). Además, la proliferación de aerogeneradores obstruye el vuelo de los murciélagos afectando sus migraciones y por ende sus poblaciones (Cryan y Barclay, 2009; Kunz *et al.*, 2007). Si a los daños que sufren las poblaciones de murciélagos se añade que éstos tienen largos ciclos de vida y bajas tasas reproductivas en comparación con otros mamíferos de tamaños similares (Voigt y Kingston, 2016), podemos asumir que necesitan más tiempo para recuperarse de una perturbación, lo que los hace susceptibles a la disminución de sus poblaciones y una difícil recuperación de las mismas (Brunet-Rossinni y Austad, 2004; Munshi-South y Wilkinson, 2010).

Considerando lo anterior, es preciso conocer el estado actual de sus poblaciones, en este sentido se han impulsado diferentes acciones para su protección y conservación alrededor del mundo, como la promoción de leyes para la protección de especies en riesgo o la protección de entradas a refugios (Weller *et al.*, 2009). Para su estudio, se cuenta con diferentes herramientas que permiten el

monitoreo de sus poblaciones tales como la obtención de pulsos ultrasónicos para la identificación de especies, la captura de individuos con redes de niebla o trampas de arpa, así como el conteo en refugios de forma visual o con ayuda de cámaras trampa (Berry *et al.*, 2004; Pech-Canche *et al.*, 2010). A pesar de estos esfuerzos, la mayor cantidad de información que se tiene sobre murciélagos proviene de las especies comunes o fáciles de estudiar, mientras que, en las especies crípticas (raras), generalmente hay un menor esfuerzo de muestreo, lo cual genera un sesgo de información sobre el estado actual de sus poblaciones y riqueza de especies (Weller *et al.*, 2009). Si se ha de realizar alguna iniciativa para la conservación de especies de murciélagos, por principio, es fundamental conocer la cantidad de especies con las que se cuenta en un espacio determinado, es decir, su riqueza (Magurran *et al.*, 2010; Ochoa *et al.*, 2000).

El Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud -Unidad Milpa Alta, perteneciente al Instituto Politécnico Nacional (CICS-UMA IPN) (Fig. 1) es una unidad académica ubicada al sur de la alcaldía Milpa Alta, cercano al corredor biológico “Sierra del Chichinautzin” presenta condiciones de conservación favorables para el registro de especies poco estudiadas de murciélagos asociados a la urbe. Por lo que el realizar estudios de riqueza de especies de murciélagos (urbanos) por medio de pulsos ultrasónicos en esta zona, genera la posibilidad de complementar e incluso incrementar los registros de riqueza de especies de murciélagos de esta región, y así poder obtener información para la colección de llamadas acústicas. Esto es elemental porque existen pocas investigaciones sobre mamíferos voladores (y en general de la fauna y flora del ecosistema) de esta zona peri-urbana. Tradicionalmente se han registrado especies de murciélagos en Milpa Alta mediante captura directa con redes de niebla, así como la obtención de grabaciones de pulsos ultrasónicos (Avila-Flores y Fenton, 2005; Navarro-Frías *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 1989), por lo que mucha información sobre la riqueza de esta zona podrá ser complementada en este caso por medios de detección acústica, dado que por las características del hábitat de la zona, muchos murciélagos vuelan por encima del dosel y no llegan a caer en redes, o bien, pertenecen a especies crípticas.

Por otra parte, esto del obtener registros de especies poco conocidas o aun no identificadas en la región, beneficia la comprensión del valor ambiental; social, económico y ecológico que nos proveen los murciélagos (y el ecosistema como tal) de la zona sur de Milpa Alta, tanto para la Ciudad

de México como para el corredor biológico (Avila-Flores *et al.*, 2019). Por último, cabe mencionar que, al estar relativamente cerca de la Ciudad de México, se considera un sitio viable para realizar actividades de muestreo de mamíferos u otros organismos, dado que por el contexto se encuentra resguardado por la seguridad del propio centro interdisciplinario y los guardabosques.

## 2. Revisión de la literatura

### 2.1. Ecolocalización

La mayoría de las especies de murciélagos pertenecientes al suborden Yangochiroptera emiten sonidos ultrasónicos que se dividen en dos grupos de vocalizaciones: la comunicación social y la ecolocalización (Altringham, 2011; Denzinger y Schnitzler, 2013; Fenton, 2013).

El término ecolocalización fue acuñado por el Dr. Griffin (1958). La laringe de los murciélagos produce la ecolocalización, la cual modula y emite sonidos de alta frecuencia ( $\pm 20-200$  khz) (Neuweiler, 2000). Estos sonidos al chocar con objetos regresan en forma de eco, y son reconocidos por un sistema auditivo adaptado para producir una imagen en su mente de como está estructurado el hábitat que los rodea y, si es el caso, de la ubicación y tamaño de su presa (Jones y Siemers, 2011; Schnitzler y Denzinger, 2011; Schnitzler y Kalko, 2001).

La bioacústica ha estudiado las vocalizaciones que emiten diferentes especies de animales (especialmente insectos, anfibios, aves y mamíferos), que se vinculan por lo general a su etología y sistemática. Sin embargo, últimamente las investigaciones se han inclinado a temas de conservación y manejo de poblaciones naturales (Caycedo-Rosales *et al.*, 2013).

Debido a los retos que establece el estudio de la bioacústica, se han fabricado detectores ultrasónicos con micrófonos de alta sensibilidad que maximizan la detección de murciélagos, facilitan su identificación a nivel de especie y permiten el registro de especies crípticas o aquellas que vuelan por encima del nivel del dosel que con métodos convencionales su registro es inusual o casi imposible, o bien, sería costoso (MacSwiney G *et al.*, 2009; McCracken *et al.*, 2008; Speakman, 1995; Weller *et*

*al.*, 2009; Zamora-Gutierrez *et al.*, 2020).

El uso de detectores ultrasónicos y software's han permitido escuchar y visualizar que las vocalizaciones de murciélagos tienen un sonotipo único que permite la identificación a nivel especie, lo que ha posibilitado realizar estudios de riqueza de especies de quirópteros con métodos no invasivos (Kraker-Castañeda *et al.*, 2013; Russo y Voigt, 2016; Zamora-Gutierrez *et al.*, 2016).

Para poder identificar especies de murciélagos por medio de sus vocalizaciones es preciso contar con materiales de referencia, en este sentido, hace poco se inició una librería acústica de los murciélagos de México con el nombre de Zonozots, lo que permitirá contar con información detallada de pulsos ultrasónicos de muchas especies en varias regiones de México (Zamora-Gutierrez *et al.*, 2020). Este programa (Zonozots) por sus características logarítmicas proporciona una mayor precisión de clasificación a nivel especie (Armitage y Ober, 2010).

## **2.2. Identificación de especies y riqueza de especies por medio de pulsos ultrasónicos**

Desde Fenton *et al.* (1992) hasta la fecha, los estudios han servido para complementar las bibliotecas acústicas de las especies de murciélagos en México. No obstante, se han realizado una gran variedad de estudios sobre bioacústica de murciélagos. En el caso de la zona tropical de México, a pesar de lo difícil que ha sido aportar información precisa para todas las especies por medio de caracterización e identificación de las firmas vocales de cada especie de murciélagos (Audet *et al.*, 1993; Bouchard, 1998; Briones-Salas *et al.*, 2013; Estrada *et al.*, 2004; Fuentes-Moreno, 2010; Ibáñez *et al.*, 2002; O'Farrell y Miller, 1997), debido a la alta diversidad y densidad que presenta el hábitat (Osorio-Chablé, 2014; Rydell *et al.*, 2002). Se ha abierto camino para además realizar pruebas de comparación o complementariedad de métodos para el monitoreo de murciélagos por métodos tradicionales y acústicos (Kraker-Castañeda *et al.*, 2013; MacSwiney G *et al.*, 2008; Pech-Canche *et al.*, 2010; Trejo-Ortiz, 2011). Así como también, para estudio de la variación inter e intraespecífica de la vocalización de ciertas familias y especies de murciélagos (Gillam y McCracken, 2007; Jung *et*

*al.*, 2014; Pérez-Pérez, 2020; Ratcliffe *et al.*, 2004)

Las áreas neárticas, las cuáles han sido estudiadas desde el centro al norte de la república mexicana, han sido útiles para conocer el uso de hábitat de murciélagos insectívoros, identificación y caracterización de la vocalización de especies, o para complementar las bibliotecas acústicas de esta zona. Ya que por el cambio de región y, por consiguiente de las condiciones ambientales, se ven en la necesidad ciertas especies de murciélagos en modificar las frecuencias de su firma vocal (Avila-Flores y Fenton, 2005; Ibáñez *et al.*, 2002; Rascón-Escajeda y Lopez-Gonzalez, 2010).

Para tener una biblioteca acústica completa (Zamora-Gutierrez *et al.*, 2020), la zona neotropical es de particular enfoque, aquí se ubica el estado de Morelos y algunos territorios de Oaxaca. Existen algunos estudios de caracterización de las vocalizaciones de quirópteros para estas regiones (Moreno, 2010; Orozco-Lugo *et al.*, 2013; Rizo-Aguilar, 2008). Cabe mencionar que los estudios acústicos en México con la palabra "riqueza" en el título son limitados. Por ejemplo, Kraker-Castañeda *et al.* (2013).

### 3. Objetivo general

Estimar la riqueza de especies de quirópteros insectívoros por medio de registros ultrasónicos colectados en las instalaciones del CICS-UMA a lo largo de un ciclo anual.

#### 3.1. Objetivos particulares

- Analizar los pulsos de ecolocalización de quirópteros insectívoros que fueron recolectados en 10 sitios dentro de las instalaciones del CICS-UMA durante un monitoreo semi-activo mensual.
- Identificar especies de quirópteros presentes en los registros ultrasónicos recabados mediante análisis espectrográfico (Sonogramas).

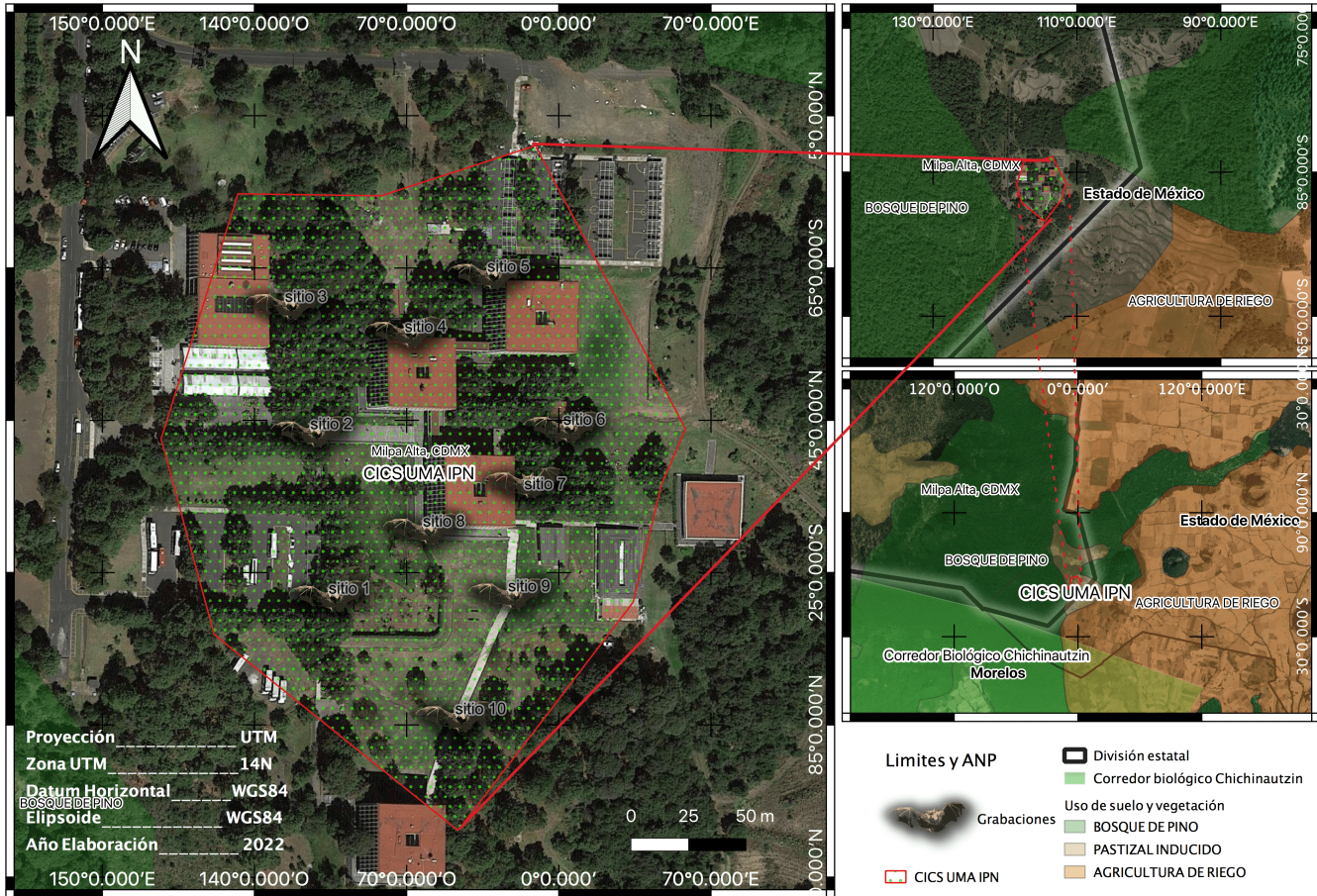


Figura 1: Sitio de obtención de pulsos ultrasónicos

#### 4. Area de estudio

El Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud Unidad Milpa Alta (CICS UMA) (Fig. 1), pertenece al Instituto Politécnico Nacional (IPN) ubicado en la carretera de Xochimilco-Oaxtepec km 39.5 en los límites de la alcaldía de Milpa Alta al sureste de la Ciudad de México, colinda con el estado de Morelos y dista de 1.3 km del área natural protegida la “Sierra del Chichinautzin”. La zona de estudio al estar ubicada en el Eje Volcánico Transmexicano presenta un relieve abrupto y una altitud de 2 900 msnm (INEGI, 2020).

En el área donde se colectaron los pulsos de ecolocalización se ha descrito un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano C(E)(w2), y templado subhúmedo C(w2) con temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C (CONABIO, 2020). El sitio esta dominado principalmente por bosque de

pino, predomina pino chimonoque (*Pinus liopphylla*), ocote (*P. moctezumae*) y pino pardo (*P. hartweggi*), con algunas composiciones de *Quercus*, *Abies*, *Salix* y *Buddleia*, además, existe la presencia de áreas de cultivo al sureste del área de estudio (Rzedowski y de Rzedowski, 1979).

## 5. Metodología

### 5.1. Grabación de pulsos ultrasónicos

Para cumplir con los objetivos, contamos con el apoyo del Lic. Edgar Cresenciano Oropeza, director de Recursos Materiales del CICS-UMA-IPN y el equipo de SIENSA (Soluciones Integrales En Sustentabilidad Ambiental S.A.S. de C.V.) una consultoría ambiental formada por biólogos (UAM, UNAM e IPN), quienes han realizado un monitoreo mensual por medio de detectores ultrasónicos de murciélagos en las instalaciones del periodo de noviembre del 2019 al mes de octubre del 2020. Además, cada muestreo de pulsos ultrasónicos se realizo con la luna en fase nueva. Así como también, sin la presencia de vientos rápidos y lluvias torrenciales, ya que durante estas condiciones la actividad de los murciélagos puede disminuir o variar (Santos-Moreno *et al.*, 2010).

Se realizó un monitoreo semi-activo mensual, el cual consiste en la obtención de grabaciones durante un corto periodo de tiempo en sitios seleccionados. El monitoreo de los pulsos ultrasónicos se realizó en diez puntos distribuidos al azar, dentro y en la periferia de las instalaciones del centro interdisciplinario, iniciando las grabaciones en la puesta de sol, y en cada uno de los diez puntos la duración de la grabación fue de cinco minutos, sumando un total de 50 minutos por cada visita.

Las grabaciones se realizaron con el detector ultrasónico Echo Meter Touch 2 PRO (WILDLIFE ACOUSTICS), que fue configurado a una velocidad de muestreo de 256 kHz con grabaciones en tiempo real. Cada registro de pulsos ultrasónicos se almacenó en la memoria de un dispositivo IOS por medio de la aplicación Echo Meter Touch Bat Detector en formato WAV\* este formato además de guardar una imagen de alto espectro de cada vocalización guarda sonidos audibles, y las variables para el análisis de espectrogramas.



## 5.2. Procedimientos para el análisis de espectrogramas (Sonogramas)

El análisis de las vocalizaciones se realizó con el software BatExplorer 2.1.7 (Elekon AG), en cada grabación se tomo en cuenta aspectos cualitativos y cuantitativos. En cuanto a lo cualitativo, se tomó en cuenta la forma de la vocalización, la presencia de componentes de frecuencia modulada (FM), frecuencia constante (CF), frecuencia cuasiconstante (QCF) los armónicos y, para establecer la presencia de un organismo o más de diferente especie, se estableció que la presencia de un organismo es de cuando menos tres pulsos ultrasónicos continuos (un pase) de búsqueda en las imágenes de los espectrogramas de alta resolución.

Para llegar a un nivel taxonómico sobre los pulsos obtenidos, a cada espectrograma se le realizo la medición de los siguientes parámetros cuantitativos, que por lo general, son los más reportados en las librerías acústicas de murciélagos y en las investigaciones hechas en México: frecuencia de máxima energía (FME), frecuencia inicial (FI), Frecuencia final (FF), duración (DUR) e intervalo entre pulso (IP). Posteriormente se obtuvo el archivo Excel que te proporciona el mismo software (Batxplorer), ya con los datos acondicionados para el análisis estadístico.

## 5.3. Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos se utilizó el programa RStudio (Versión 1.2.5033). Para esto se realizó un modelo con las variables cuantitativas de las ecolocalizaciones de cada sonotipos asignado, con la cual se obtuvo por medio función barplot (paquete graphics Versión. 3.6.3), una gráfica de los sonotipos a lo largo del año de muestreo de noviembre 2019 a octubre 2020, representando su presencia por medio de las grabaciones obtenidas durante los meses exitosos de muestreo, lo cual nos da información temporal-espacial sobre de la especie que se puede tratar.

Para asignar confianza a la clasificación de los sonotipos, se obtuvo de cada variable cuantitativa su media ( $\bar{x}$ ) y desviación estándar (DS), para obtener el coeficiente de variación (CV), que es la división de la media de cada variable sobre la desviación estándar de la misma.

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} 100 \quad (1)$$

Por último, con la función *lda* (paquete MASS Versión. 7.3-55) se realizó un análisis discriminante (DA) que proporciona una matriz de confusión (Cuadro 3), la cual muestra que tan correctamente se han clasificado las variables con los sonotipos. Y, con el mismo paquete MASS, se realizó una gráfica (Fig. 3) del análisis discriminante, que comienza por encontrar direcciones que maximizan la separación entre las clases, luego usa estas direcciones para la clase de individuos (función *xyplot*). Estas direcciones, llamadas discriminantes lineales, son combinaciones lineales de variables predictoras (Fig. 3).

#### 5.4. Aspectos éticos

Dadas las condiciones que atravesamos sobre la pandemia de COVID-19, y por los acuerdos decretados para el servicio social en el ejercicio del 2021 para la UAM-Xochimilco. La cual establece que, no se podrán realizar actividades de campo y solo se permite hacer uso de información ya recopilada, por lo que es importante recalcar que la metodología esta descrita completa, desde la recolección de datos hasta su análisis, pero en este caso el servicio social solo abarcará el análisis de los espectrogramas. Lo cual se apega a los requerimientos establecido por el comité de la coordinación de biología. Además, al hacer uso de herramientas acústicas, el método como tal es no invasivo por lo que no se necesita permiso de colecta de murciélagos.

## 6. Resultados

Se obtuvo un total de 240 minutos de grabación durante las nueve visitas efectivas a lo largo del año de muestreo. De estas grabaciones se pudo obtener 9687 vocalizaciones de búsqueda. De estas vocalizaciones se clasificaron cuatro sonotipos pertenecientes a dos familias, dos a la familia Molossidae y dos a Vespertilionidae.

Aunque por la contingencia del COVID 19 no se capturaron ejemplares para confirmar los pulsos obtenidos con las especies supuestamente relacionadas en el área de estudio. Se reportan los organismos clasificados, así como tal, como sonotipos y se discutirá para poder llegar a nivel especie, pero se dejará como sugerencia.

En el cuadro 1 se presentan los cuatro sonotipos clasificados con sus medidas de tendencia central de las variables cuantitativas.

| Sonotipo  | # P         | $\bar{x}$ FME | Ds         | $\bar{x}$ FI | Ds         | $\bar{x}$ FF | Ds         | $\bar{x}$ DP | Ds       | $\bar{x}$ IP | Ds           |
|-----------|-------------|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|----------|--------------|--------------|
| Molosido  | <b>3309</b> | 26.6          | 1.3        | 31.2         | 3          | 25.1         | 1.2        | 9.6          | 1.5      | 293.4        | 103.2        |
| Molosido1 | 3226        | 23.4          | 1.3        | 25.9         | 2.7        | 22.2         | 1.3        | 11.2         | <b>2</b> | 361.9        | <b>148.6</b> |
| Vesper1   | 1882        | 43.5          | <b>3.7</b> | 55.1         | <b>8.5</b> | 40           | <b>2.5</b> | 3.7          | 1.2      | 134.8        | 90.3         |
| Vesper2   | <b>1270</b> | 30            | 1.9        | 42.6         | 4.6        | 26.5         | 2.1        | 7.3          | 1.7      | 207.         | 106.2        |
| Total     | <b>9687</b> |               |            |              |            |              |            |              |          |              |              |

Cuadro 1: Medias y desviación estándar de los atributos de los pulsos para los cuatro Sonotipos clasificados

## 6.1. Caracterización acústica

### 6.1.1. Familia Molosidae

- Molosido

Este sonotipo presentan pulsos FM y QCF de amplitud de banda estrecha, ya que presenta una frecuencia inicial de 31.1 kHz y una frecuencia final de 25.1 kHz. No presenta armónicos pero sí presenta ecos.

- Molosido1

Este sonotipo presenta pulsos de FM y QCF. De amplitud de banda menor a Molosido y con menores frecuencias. Ya que presenta una frecuencia inicial 25.9 kHz y una frecuencia final 22.2 kHz. Este sonotipo tiene la mayor duración 11.2 milisegundos (ms). Y algunos pulsos llegan alcanzar los 18 ms.

### 6.1.2. Familia Vespertilionidae

- Vesper1

Es el sonotipo con menor duración del pulso 3.7 (ms). Son pulsos de FM y con una amplitud de banda ancha. Por lo que presenta una frecuencia inicial de 55.1 kHz y una frecuencia final de 40 kHz.

- Vesper2

Este sonotipo presenta un componente inicial QCF-FM-QCF. Con una frecuencia inicial 42.6 kHz y una frecuencia final 26.5 kHz. Se caracteriza por tener armónicos. y su FME la concentra en los 30 kHz.

## 6.2. Análisis estadístico descriptivo

El cuadro 2. contiene los coeficientes de variación, resultando en que los valores obtenidos, son aceptables para un comportamiento de datos normales. Lo cual no rechaza la clasificación de los sonotipos.

| Sonotipo  | # P         | FME-CV     | FI-CV      | FF-CV      | DP-CV     | IP-CV     |
|-----------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| Molosido  | <b>3309</b> | 0.04838671 | 0.09659255 | 0.04876237 | 0.1526665 | 0.3519157 |
| Molosido1 | 3226        | 0.05756026 | 0.1049521  | 0.06056984 | 0.1848747 | 0.4106475 |
| Vesper1   | 1882        | 0.08601614 | 0.1549109  | 0.06181135 | 0.3274053 | 0.6699148 |
| Vesper2   | <b>1270</b> | 0.06384185 | 0.1074572  | 0.07933613 | 0.2370571 | 0.5129396 |

Cuadro 2: Coeficiente de variación de los parámetros cuantitativos de los pulsos de cada Sonotipo

Aparentemente el sonotipo Molosido, con 3309 pulsos, fue el organismo con mayor presencia en los archivos analizados. Esté organismo además se presentó a lo largo de todos los muestreos, con una mayor presencia en el mes de marzo y con pocos registros en los meses Nov19, Jul, Ago. El organismo con menos presencia fue Vesper2 con 1270 pulsos, con una mayor registro en el mes de Mar, y con ausencia en los meses de May y Ago (Fig. 2).

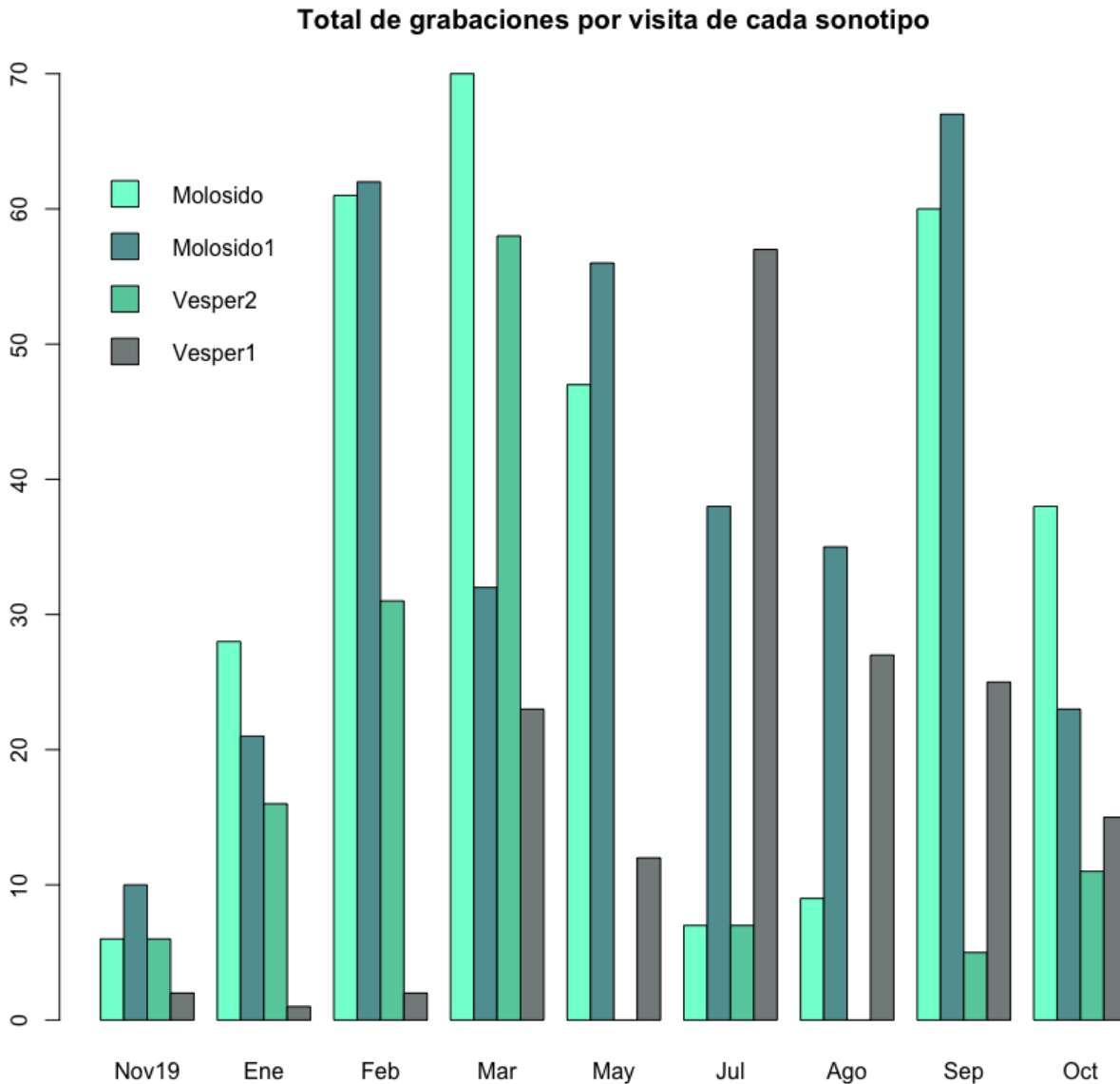


Figura 2: Cantidad de grabaciones por mes de pulsos ultrasónicos de cada Sonotipo

### 6.3. Análisis multivariable

La tabla de confusión que se muestra en el cuadro 3, da la información de los errores y aciertos en la asignación de clasificación de cada sonotipo, en función de las variables cuantitativas. Anteriormente se habían clasificado seis sonotipos, y con ayuda de esta matriz se pudo reducir a cuatro sonotipos. Por lo que se obtuvieron mejores resultados con cuatro sonotipos. El cuadro 3 muestra

que para el sonotipo Molosido la matriz acertó a 282 de los datos y otros 38 se relacionaron más al sonotipo Molosido1. Para Molosido1 hubo un acierto de 307 clasificaciones de los datos y 36 se clasificaron como Molosido. En cuanto a Vesper1 todas las clasificaciones entraron en el mismo sonotipo. Mientras que para Vesper2 108 fueron clasificaciones correctas mientras que 26 se clasificaron erróneamente y las coloco en el sonotipo Molosido.

| Sonotipo  | Molosido   | Molosido1  | Vesper1    | Vesper2    |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Molosido  | <b>282</b> | 38         | 0          | 6          |
| Molosido1 | 36         | <b>307</b> | 0          | 1          |
| Vesper1   | 0          | 0          | <b>163</b> | 0          |
| Vesper2   | 26         | 0          | 0          | <b>108</b> |

Cuadro 3: Matriz de confusión

El análisis de función discriminante muestra el porcentaje de explicación de los tres ejes en función de las variables correspondientes. La primer variable predictora (LD1) representa un (95 %) de la explicación con la Fmehz, Fihz y Ffhz correlacionados de forma negativa, y la Durms, Ipms positivamente. La variable predictora LD2 explica el (4.5 %) y los parámetros Fmehz, Ffhz, Durms y Ipms se correlacionan de forma negativa, solo Fihz se correlaciona de forma positiva. El LD3 explica el (.5 %) y solo Fihz y Ffhz se correlacionan de forma negativa.

La representación gráfica de cada sonotipo en el espacio definido por las variables predictoras sitúa a los Molosidos de forma positiva sobre el eje del LD1 y a los Vespertilionidos de forma negativa sobre el eje LD1. El traslape de los puntos es debido a lo similar de los pulsos, pero que no necesariamente pertenecen al mismo sonotipo en función de la familia, genero o especie.

## Análisis linear discriminante de la clasificación de los sonotipos

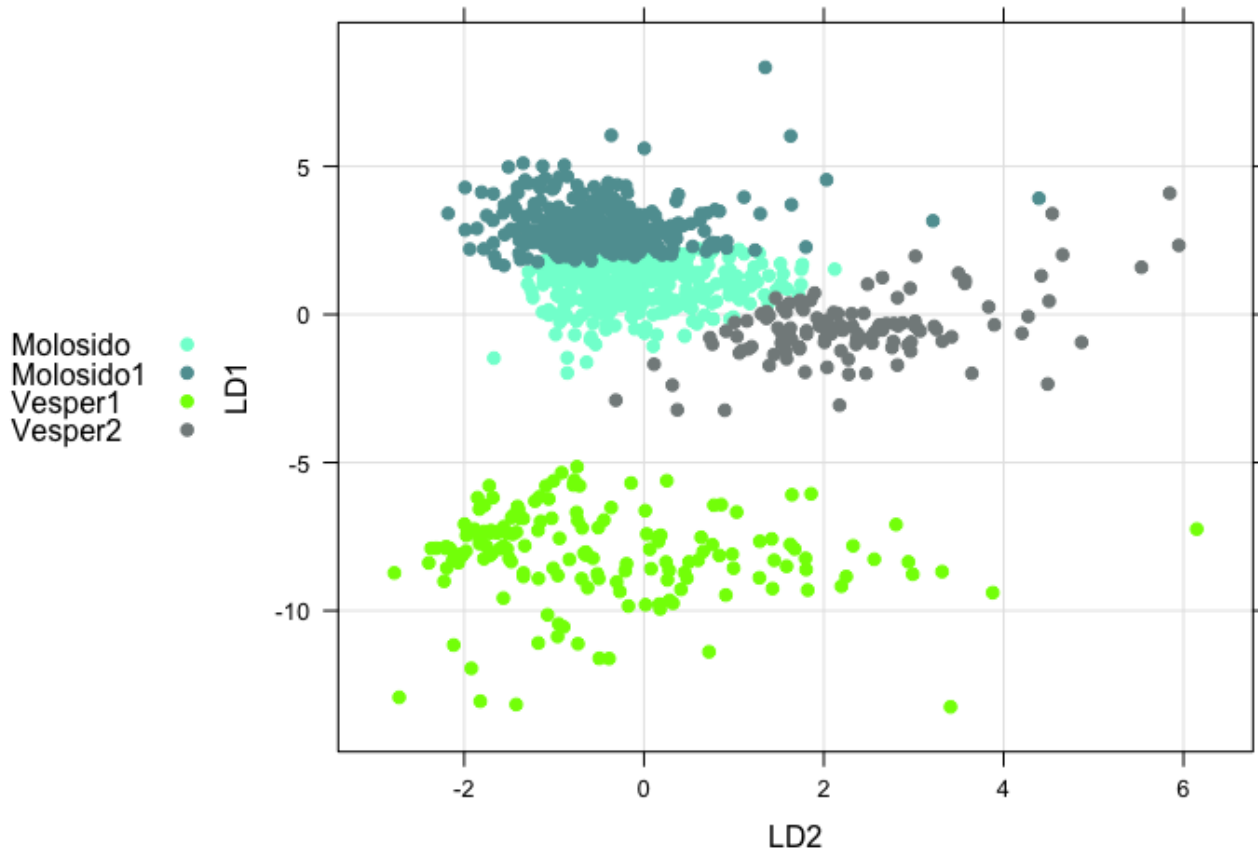


Figura 3: Análisis de función discriminante linear

## 7. Discusión

De acuerdo a los estudios realizados anteriormente para esta zona de estudio (Fig. 1), es probable reportar un ensamblaje de 14 especies (*Myotis velifer*, *Myotis volans*, *Myotis californicus mexicanus*, *Myotis thysanodes aztecus*, *Lasiurus blossevillii*, *Glossophaga soricina*, *Tadarida brasiliensis*, *Nyctinomops macrotis*, *Eumops perotis*, *Leptonycteris sambomi Hoffmeister*, *Eptesicus fuscus*, *Leptonycteris yerbabuenae*, *Corynorhinus mexicanus* o *C. townsendii*) de dos familias de murciélagos Vespertilionidae y Molosidae (Avila-Flores y Fenton, 2005; Hortelano-Moncada y Cervantes, 2011; Hortelano-Moncada *et al.*, 2016; Navarro-Frías *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 1989). Sin embargo, no hay reporte de pulsos ultrasónicos para todas las especies hasta ahora reportadas, para poder hacer

una comparación precisa con los sonotipos que se han clasificado en este reporte. Además Zamora-Gutierrez *et al.* (2020), menciona que existe cierto nivel de precisión de clasificación en función del nivel taxonómico: familia (96 %), género (77 %) y nivel especie (66 %). Para este caso, se clasificaron cuatro sonotipos Molosido (relacionado con *Tadarida brasiliensis*) Molosido1 (*Sonotipo*), Vesper1 (*Myotis velifer.*) y Vesper2 (*Lasiurus cinereus*). Este resultado es interesante, comparado con lo que supone Kraker-Castañeda *et al.* (2013), ya que menciona necesario tres horas de grabación de pulsos ultrasónicos mínimo, para una alta acumulación de especies; sin embargo, solo se realizaron grabaciones durante la primera hora después de ponerse el sol en cada visita. Lo cual influye en el recambio de especies a lo largo de la noche, y por lo tanto, menos registros. Duffy *et al.* (2000) recomienda entre 3 y 5 horas para registrar aproximadamente 70 % de las especies y, por último, Richards (2001) reporta 3 horas para acumular el 90 % de las especies y toda la noche para el posible registro de todas las especies. Por otra parte, la mayor actividad de murciélagos se observa en la época de secas, según Kraker-Castañeda *et al.* (2013). Lo que es similar en nuestros resultados ya que la mayor actividad de murciélagos en función de los pulsos obtenidos fue de febrero a mayo (Fig. 2) por parte de Molosido, Molosido1 y Vesper2. En cambio, por parte de Vesper1, su mayor actividad fue en época de lluvias de julio hasta agosto (Kraker-Castañeda *et al.*, 2013).

En el caso de Molosido, esta investigación reporta una FME de 26.6 kHz, una FI de 31.2 kHz y FF de 25.1 kHz, muy similar a los datos reportados por Gillam y McCracken (2007), Avila-Flores y Fenton (2005), Kraker-Castañeda *et al.* (2013), Orozco-Lugo *et al.* (2013), Rizo-Aguilar (2008), Trejo-Ortiz (2011) y García-Luis *et al.* (2019), para la especie *Tadarida brasiliensis*, por lo que podría estar asociado a tal especie. El grupo de los molosidos, por lo general carece y es deficiente en sus investigaciones sobre la descripción y análisis de los pulsos de cada especie en México. No obstante, en el caso de *Tadarida brasiliensis* la variabilidad de sus pulsos se ha descrito a nivel especie por Ratcliffe *et al.* (2004) y a nivel familia por Jung *et al.* (2014).

El caso para Molosido1, presenta frecuencias más bajas que el sonotipo de Molosido con FI 25.9 kHz y frecuencia final de 22.2 kHz y una concentración de la energía en 24.4 kHz. Estas frecuencias son muy similares a las especies del género y familia, *Molossus rufus* de baja intensidad y a *Nyctinomops laticaudatus* de baja intensidad en sus frecuencias (García-Luis *et al.*, 2019; Jung *et al.*,



2014; Trejo-Ortiz, 2011). Sin embargo, estas especies no han sido reportadas en esta área de estudio. Por otra parte, este sonotipo podría deberse a la variación de los pulsos de *Tadarida brasiliensis*, dado que la familia de los molosidos suele realizar variaciones en la estructura de sus pulsos de búsqueda en presencia de otros molosidos (Jung *et al.*, 2014; McCracken *et al.*, 2008; Pérez-Pérez, 2020; Ratcliffe *et al.*, 2004).

El caso de Vesper1, este sonotipo, es muy similar a lo reportado por Avila-Flores y Fenton (2005), para *Myotis* sp. y lo reportado por Rizo-Aguilar (2008) para *Myotis velifer*. También los pulsos son similares a lo que reporta Orozco-Lugo *et al.* (2013) y García-Luis *et al.* (2019) para *M. velifer*. Es muy posible que sea esta especie, ya que, por lo general, dentro de el género *Myotis*, *M. velifer* es la especie con las frecuencias más bajas en la mayoría de los reportes. Los Vespertilionidos tienen una tendencia a habitar áreas naturales, aunque también son tolerables a la urbanización y suelen forrajear cerca del alumbrado público, esto podría estar asociado a que dentro del sitio de grabación de pulsos ultrasónicos estaban presentes varias lámparas distribuidas en los diferentes edificios (Mapa Fig. 1) (Voigt y Kingston, 2016).

Y por último, el sonotipo clasificado como Vesper2 está relacionado por los reportes de García-Luis *et al.* (2019) y Trejo-Ortiz (2011), primeramente, con *Eptesicus fuscus*, *Lasiurus xanthinus* y *Lasiurus cinereus*. Sin embargo, también tiene parecido los pulsos tanto a *Corynorhinus townsendii*, como para *Eptesicus fuscus* y hasta con algunos pulsos de alta intensidad de *Tadarida brasiliensis* (Avila-Flores y Fenton, 2005; Rizo-Aguilar, 2008). Este sonotipo es difícil de diferenciar, primeramente porque tanto *Eptesicus fuscus*, *Lasiurus xanthinus* y *Lasiurus cinereus*, están restringidos a áreas naturales (Avila-Flores y Fenton, 2005; Voigt y Kingston, 2016). También interviene la variación de pulsos, ya que tanto los sonotipos de Molosido1 como de Vesper2 podrían pertenecer a *Tadarida brasiliensis*, por la modificación de sus vocalizaciones, ya sea por aspectos sociales o para evadir obstáculos (Pérez-Pérez, 2020; Ratcliffe *et al.*, 2004). No obstante, la variación vocal de *T. brasiliensis* estaría enmascarando otras posibles especies o más precisamente la firma vocal de otras especies.

El análisis discriminante permite ver el porcentaje correcto de clasificación de las especies en

un cierto grupo, en función de distintas variables asignadas. Este método multivariable ha sido descrito en Palacio *et al.* (2020) para datos biológicos. Además, otras publicaciones han utilizado este método para describir estadísticamente la clasificación de pulsos ultrasónicos de cada especie (Avila-Flores y Fenton, 2005; MacSwiney G *et al.*, 2009; Rizo-Aguilar, 2008). Los resultados que se obtuvieron en cuanto al análisis estadístico son similares a los obtenidos por Rizo-Aguilar (2008). No obstante Rizo-Aguilar (2008) utilizó análisis de componentes principales y comparó las covarianzas con el análisis de función discriminante, que técnicamente son lo mismo (Palacio *et al.*, 2020).

## 8. Conclusión

La riqueza fue menor a la reportada con métodos acústicos por Avila-Flores y Fenton (2005). No obstante, este método acústico de identificación de especies de murciélagos, además de complementar las técnicas convencionales del monitoreo de murciélagos (MacSwiney G *et al.*, 2009; Pech-Canche *et al.*, 2010), puede ser una herramienta fundamental para casos de contingencia, donde la invasión sobre el organismo es nula y no pone en riesgo a los murciélagos de una posible contaminación de humano a murciélagos, por lo que es necesario poner esfuerzos en estos métodos, ya que la escasez de información de pulsos ultrasónicos o la falta de bibliotecas acústicas de la Ciudad de México, no permite hacer identificación precisa de la especie con estas técnicas fácilmente y, más para las especies relacionadas con la familia Molossididae y Vespertilionidae. El uso de estas técnicas ha permitido el incremento en un 30-40% el registro de especies en comparación con métodos tradicionales, en zonas tropicales (MacSwiney G *et al.*, 2009). En este caso, al ser un área de estudio con vegetación boscosa, y con áreas abiertas, es probable que esta herramienta sea eficaz para hacer muestreos con mayor registro de especies haciendo recorrido más largos y en zonas más conservadas del área de estudio.

## 9. Bibliografía

### Referencias

- Altringham, J. D. (2011). *Bats: from evolution to conservation*. Oxford University Press.
- Armitage, D. W. y Ober, H. K. (2010). A comparison of supervised learning techniques in the classification of bat echolocation calls. *Ecological Informatics*, 5(6):465–473.
- Arroyo-Cabrales, J. y Ceballos, G. (2012). Lista actualizada de los mamíferos de México 2012. *Rev. Mex. Mastozool*, 2:27–80.
- Audet, D., Engstrom, M. D., y Fenton, M. B. (1993). Morphology, karyology, and echolocation calls of rhogeessa (chiroptera: Vespertilionidae) from the yucatan peninsula. *Journal of Mammalogy*, 74(2):498–502.
- Avila-Flores, R., Cuéllar-Torres, N., García-González, F. M., Muñoz-García, C. I., y González-Martínez, T. M. (2019). El estudio de los murciélagos en ambientes urbanos de México: retos y oportunidades. *Manual de técnicas para el estudio de: Fauna nativa de ambientes urbanos*, pp. 151–171.
- Avila-Flores, R. y Fenton, M. B. (2005). Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of mammalogy*, 86(6):1193–1204.
- Bárceñas, H. V. y Legorreta, R. A. M. (2007). Registros notables de mamíferos en el sur del distrito federal, México. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*, 11(1):73–79.
- Berry, N., O’connor, W., Holderied, M. W., y Jones, G. (2004). Detection and avoidance of harp traps by echolocating bats. *Acta Chiropterologica*, 6(2):335–346.
- Bouchard, S. (1998). Emergence, echolocation, diet and foraging behavior of molossus ater (chiroptera: Molossidae)’. *BIOTROPICA*, 30(2):314–320.
- Briones-Salas, M., Peralta-Pérez, M., y García-Luis, M. (2013). Acoustic characterization of new species of bats for the state of Oaxaca, Mexico. *Therya*, 4(1):15–32.

- Brunet-Rossinni, A. K. y Austad, S. N. (2004). Ageing studies on bats: a review. *Biogerontology*, 5(4):211–222.
- Bumrungsri, S., Sripaoraya, E., Chongsiri, T., Sridith, K., y Racey, P. A. (2009). The pollination ecology of durian (*Durio zibethinus*, *bombacaceae*) in southern thailand. *Journal of Tropical Ecology*, 25(1):85–92.
- Caycedo-Rosales, P. C., Ruiz-Muñoz, J. F., y Orozco-Alzate, M. (2013). Reconocimiento automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18):171–195.
- Challenger, A. y Dirzo, R. (2009). Tendencias de cambio y estado de la biodiversidad, los ecosistemas y sus servicios. *Estado de conservación y tendencias de cambio. Capital Natural de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF, México*, pp. 35–72.
- CONABIO (2020). Portal de geoinformación. sistema nacional de información sobre biodiversidad (snib). Consultado el: 20 de agosto del 2020. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Cryan, P. M. y Barclay, R. M. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of mammalogy*, 90(6):1330–1340.
- Denzinger, A. y Schnitzler, H.-U. (2013). Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in physiology*, 4:164.
- Duffy, A. M., Lumsden, L. F., Caddle, C. R., Chick, R. R., y Newell, G. R. (2000). The efficacy of anabat ultrasonic detectors and harp traps for surveying microchiropterans in south-eastern australia. *Acta chiropterologica*, 2(2):127–144.
- Estrada, A., Jiménez, C., Rivera, A., y Fuentes, E. (2004). General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented tropical landscape in los tuxtlas, mexico. *Animal biodiversity and conservation*, 27(2):5–13.

- Fenton, M., Acharya, L., Audet, D., Hickey, M., Merriman, C., Obrist, M., Syme, D., y Adkins, B. (1992). Phyllostomid bats (chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the neotropics. *Biotropica*, pp. 440–446.
- Fenton, M. B. (2013). Questions, ideas and tools: lessons from bat echolocation. *Animal Behaviour*, 85(5):869–879.
- Foley, J. A. (2005). Global consequences of land use. *science*, 1111772(570):309.
- Fuentes-Moreno, H. (2010). Estructura del ensamble del murciélagos de la venta, oaxaca, méxico. *Tesis*, p. 63.
- García-Luis, M., Briones-Salas, M., y Lavariega, M. C. (2019). Bat species richness in the region of the central valleys of oaxaca, mexico. *Arxius de Miscelània Zoològica*, 17:1–11.
- Gillam, E. H. y McCracken, G. F. (2007). Variability in the echolocation of tadarida brasiliensis: effects of geography and local acoustic environment. *Animal Behaviour*, 74(2):277–286.
- Griffin, D. R. (1958). Listening in the dark: the acoustic orientation of bats and men.
- Hortelano-Moncada, Y. y Cervantes, F. A. (2011). Diversity of wild mammals in a megalopolis: Mexico city, mexico. En *Changing Diversity in Changing Environment*. IntechOpen.
- Hortelano-Moncada, Y., Cervantes, F. A., y Villaseñor, R. R. (2016). Riqueza y conservación de los mamíferos silvestres de la ciudad de méxico. *Riqueza y Conservación de los Mamíferos en México a Nivel Estatal*.
- Ibáñez, C., Juste, J., López-Wilchis, R., Albuja V, L., y Núñez-Garduño, A. (2002). Echolocation of three species of sac-winged bats (balantiopteryx). *Journal of Mammalogy*, 83(4):1049–1057.
- INEGI (2020). (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Geografía y Medio Ambiente. Consultado el: 20 de agosto del 2020.
- Jones, G. y Siemers, B. M. (2011). The communicative potential of bat echolocation pulses a neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology.

- Jung, K. y Kalko, E. K. (2011). Adaptability and vulnerability of high flying neotropical aerial insectivorous bats to urbanization. *Diversity and distributions*, 17(2):262–274.
- Jung, K., Molinari, J., y Kalko, E. K. (2014). Driving factors for the evolution of species-specific echolocation call design in new world free-tailed bats (molossidae). *PloS one*, 9(1):e85279.
- Kalka, M. B., Smith, A. R., y Kalko, E. K. (2008). Bats limit arthropods and herbivory in a tropical forest. *Science*, 320(5872):71–71.
- Kraker-Castañeda, C., Santos-Moreno, A., y García-García, J. L. (2013). Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, México. *Mastozoología neotropical*, 20(2):255–267.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., y Tuttle, M. D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6):315–324.
- Kunz, T. H., Lumsden, L. F., y Fenton, M. (2003). Ecology of cavity and foliage roosting bats. *Bat ecology*, 1:3–89.
- MacSwiney G, C. M., Cimé, B. B., Clarke, F. M., y Racey, P. A. (2009). Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica*, 11(1):139–147.
- MacSwiney G, M. C., Clarke, F. M., y Racey, P. A. (2008). What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in neotropical bat assemblages. *Journal of applied Ecology*, 45(5):1364–1371.
- Magurran, A. E., Baillie, S. R., Buckland, S. T., Dick, J. M., Elston, D. A., Scott, E. M., Smith, R. I., Somerfield, P. J., y Watt, A. D. (2010). Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in ecology & evolution*, 25(10):574–582.
- McCracken, G. F., Gillam, E. H., Westbrook, J. K., Lee, Y.-F., Jensen, M. L., y Balsley, B. B. (2008). Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*: Molossidae, Chiroptera) at high altitude: links to migratory insect populations. *Integrative and Comparative Biology*, 48(1):107–118.

- Medellín, R. A., Arita, H. T., y Sánchez, O. (2008). Identificación de los murciélagos de México: Clave de campo.
- Medellín, R. A., Equihua, M., y Amin, M. A. (2000). Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforests. *Conservation biology*, 14(6):1666–1675.
- Medellín, R. A. y Viquez-R, L. (2014). Los murciélagos como bioindicadores de la perturbación ambiental. *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. INECC, México, pp. 521–542.
- Moreno, B. H. F. (2010). *Estructura del ensamble de murciélagos de La Venta, Oaxaca, México*. Tesis doctoral, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- Munshi-South, J. y Wilkinson, G. S. (2010). Bats and birds: exceptional longevity despite high metabolic rates. *Ageing research reviews*, 9(1):12–19.
- Navarro-Frías, J., González-Ruiz, N., y Álvarez-Castañeda, S. (2007). Los mamíferos silvestres de milpa alta, distrito federal: lista actualizada y consideraciones para su conservación. *Acta zoológica mexicana*, 23(3):103–124.
- Neuweiler, G. (2000). *The Biology of Bats*. Oxford University Press on Demand.
- Ochoa, J., O'Farrell, M. J., y Miller, B. W. (2000). Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica*, 2(2):171–183.
- O'Farrell, M. J. y Miller, B. W. (1997). A new examination of echolocation calls of some neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy*, 78(3):954–963.
- ONU-Habitat (2018). NYU y Lincoln Institute of Land Policy. Atlas of Urban Expansion. Consultado: 06 de Julio del 2021. Disponible en: <http://www.atlasofurbanexpansion.org>.
- Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela-Galván, D., y Arita, H. T. (2013). Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya*, 4(1):33–46.
- O'Shea, T. J. y Johnston, J. J. (2009). Environmental contaminants and bats: investigating exposure and effects.

- Osorio-Chablé, N. (2014). Inventario acústico de murciélagos insectívoros en un paisaje urbanizado del municipio de centro, tabasco. *Tesina de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México.*
- Palacio, F. X., Apodaca, M. J., y Crisci, J. V. (2020). Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje r.
- Pech-Canche, J. M., MacSwiney, C., y Estrella, E. (2010). Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos neotropicales. *Therya*, 1(3):221–227.
- Pérez-Pérez, L. (2020). *Pátrones de vocalización de Molossus rufus durante los vuelos de emergencia en diferentes contextos sociales y ambientales.* Tesis doctoral, MS thesis, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
- Rascón-Escajeda, J. y Lopez-Gonzalez, C. (2010). Uso del hábitat por los murciélagos (chiroptera) en la cuenca baja del río nazas, durango. *Congreso Nacional de Maztozoología, Jalisco México*, pp. 521–542.
- Ratcliffe, J. M., Hofstede, H. M. t., Avila-Flores, R., Fenton, M. B., McCracken, G. F., Biscardi, S., Blasko, J., Gillam, E., Orprecio, J., y Spanjer, G. (2004). Conspecifics influence call design in the brazilian free-tailed bat, tadarida brasiliensis. *Canadian Journal of Zoology*, 82(6):966–971.
- Richards, G. (2001). Towards defining adequate bat survey methodology: why electronic call detection is essential throughout the night. *Australasian Bat Society Newsletter*, 16:24–28.
- Rizo-Aguilar, A. (2008). *Descripción y análisis de los pulsos de ecolocación de 14 especies de murciélagos insectívoros aéreos del estado de Morelos.* Tesis doctoral, MS thesis, Instituto de Ecología AC, Xalapa, México.
- Russo, D. y Voigt, C. C. (2016). The use of automated identification of bat echolocation calls in acoustic monitoring: A cautionary note for a sound analysis. *Ecological Indicators*, 66:598–602.
- Rydell, J., Arita, H., Santos, M., y Granados, J. (2002). Acoustic identification of insectivorous bats (order chiroptera) of yucatan, mexico. *Journal of Zoology*, 257(1):27–36.



- Rzedowski, J. y de Rzedowski, G. C. (1979). Flora fanerogámica del valle de México, vol. 2. *Compañía Editorial Continental. México, DF, México.*
- Sánchez, O., López-Ortega, G., y López-Wilchis, R. (1989). Murciélagos de la ciudad de México y sus alrededores. *Ecología urbana*, pp. 141–165.
- Sánchez-Cordero, V., Botello, F., Martínez, J. J. F., Rodríguez, R. A. G., Guevara, L., Granados, G. G., y Moreno, Á. R. (2014). Biodiversidad de chordata (mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:27.
- Santos-Moreno, A., Ruiz Velásquez, E., y Sánchez Martínez, A. (2010). Efecto de la intensidad de la luz lunar y de la velocidad del viento en la actividad de murciélagos filostómidos de menizanda, Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81(3):839–845.
- Sarukhán, J., Urquiza-Haas, T., Koleff, P., Carabias, J., Dirzo, R., Ezcurra, E., Cerdeira-Estrada, S., y Soberón, J. (2015). Strategic actions to value, conserve, and restore the natural capital of megadiversity countries: the case of Mexico. *BioScience*, 65(2):164–173.
- Schnitzler, H.-U. y Denzinger, A. (2011). Auditory fovea and doppler shift compensation: adaptations for flutter detection in echolocating bats using cf-fm signals. *Journal of Comparative Physiology A*, 197(5):541–559.
- Schnitzler, H.-U. y Kalko, E. K. (2001). Echolocation by insect-eating bats: we define four distinct functional groups of bats and find differences in signal structure that correlate with the typical echolocation tasks faced by each group. *Bioscience*, 51(7):557–569.
- Simmons, N. B. (2005). Order chiroptera. *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*, 1:312–529.
- Simmons, N. B. y Conway, T. (2005). *Evolution and ecological diversity of bats. In Bat Ecology. T.H. Kunz y M.B. Fenton. (Eds).* University of Chicago Press. 493–535.
- Speakman, J. R. (1995). Chiropteran nocturnality. En *Symposia of the zoological society of London*, volumen 67, pp. 187–201. London: The Society, 1960-1999.

- Toledo, V. M. y Ordonez, M. d. (1998). El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. *Diversidad biológica de México. México, Instituto de Biología, UNAM*, pp. 739–757.
- Trejo-Ortiz, A. (2011). Caracterización acústica de los murciélagos insectívoros del parque nacional huatulco, Oaxaca. *Tesis*, pp. 1–37.
- UN (2014). United Nations. World Urbanization Prospects: The 2014 revision. *United Nations Department of Economics and Social Affairs*, p. 41.
- Voigt, C. C. y Kingston, T. (2016). *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer Nature.
- Weller, T. J., Cryan, P. M., y O’Shea, T. J. (2009). Broadening the focus of bat conservation and research in the USA for the 21st century. *Endangered Species Research*, 8(1-2):129–145.
- Zamora-Gutierrez, V., Lopez-Gonzalez, C., MacSwiney Gonzalez, M. C., Fenton, B., Jones, G., Kalko, E. K., Puechmaille, S. J., Stathopoulos, V., y Jones, K. E. (2016). Acoustic identification of Mexican bats based on taxonomic and ecological constraints on call design. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9):1082–1091.
- Zamora-Gutierrez, V., Ortega-Gonzalez, J., Avila-Flores, R., Aguilar-Rodríguez, P., Alarcón-Montano, M., Avila-Torresagatón, L., Ayala-Berdón, J., Bolívar-Cimé, B., Briones-Salas, M., y Chan-Noh, M. (2020). The sonozotz project: Assembling an echolocation call library for bats in a megadiverse country. *Ecology and evolution*, 10(11):4928–4943.

## 10. Anexo

Imágenes de las vocalizaciones de búsqueda, perteneciente a cada sonotipo identificado

## 10.1. Molosido

Estas imágenes son clasificadas como Molosido o bien, identificado a nivel especie como *Tadarida brasiliensis*

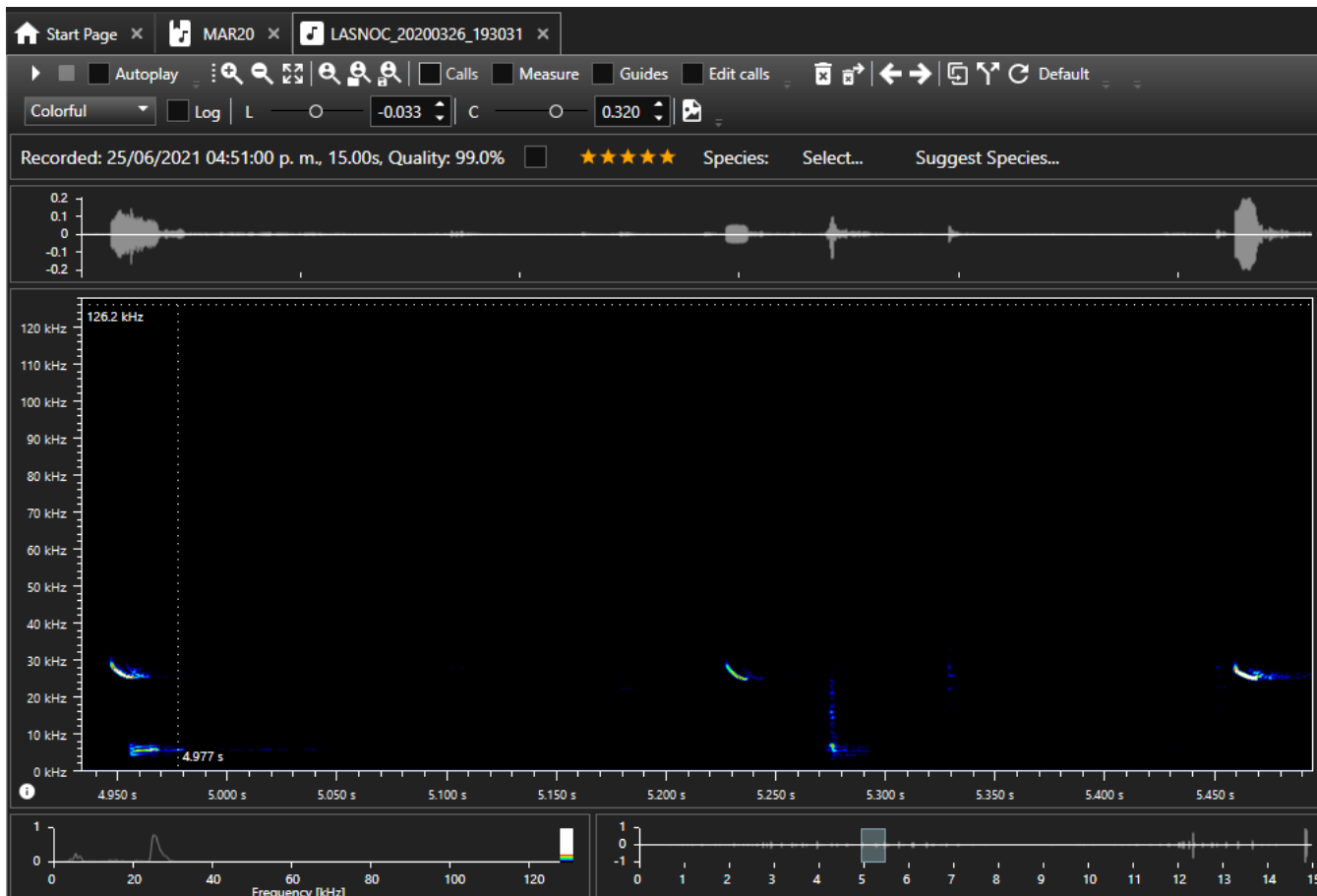


Figura 4: Molosido

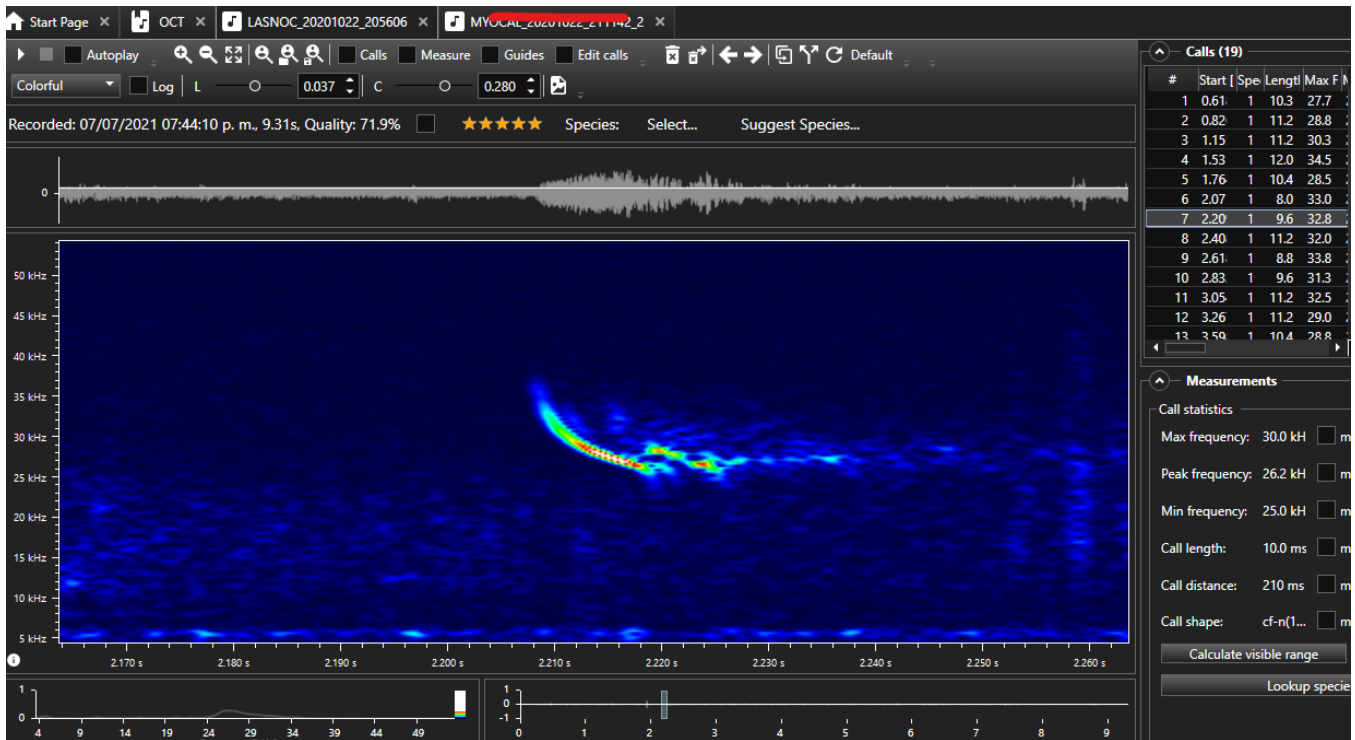


Figura 5: Molosido

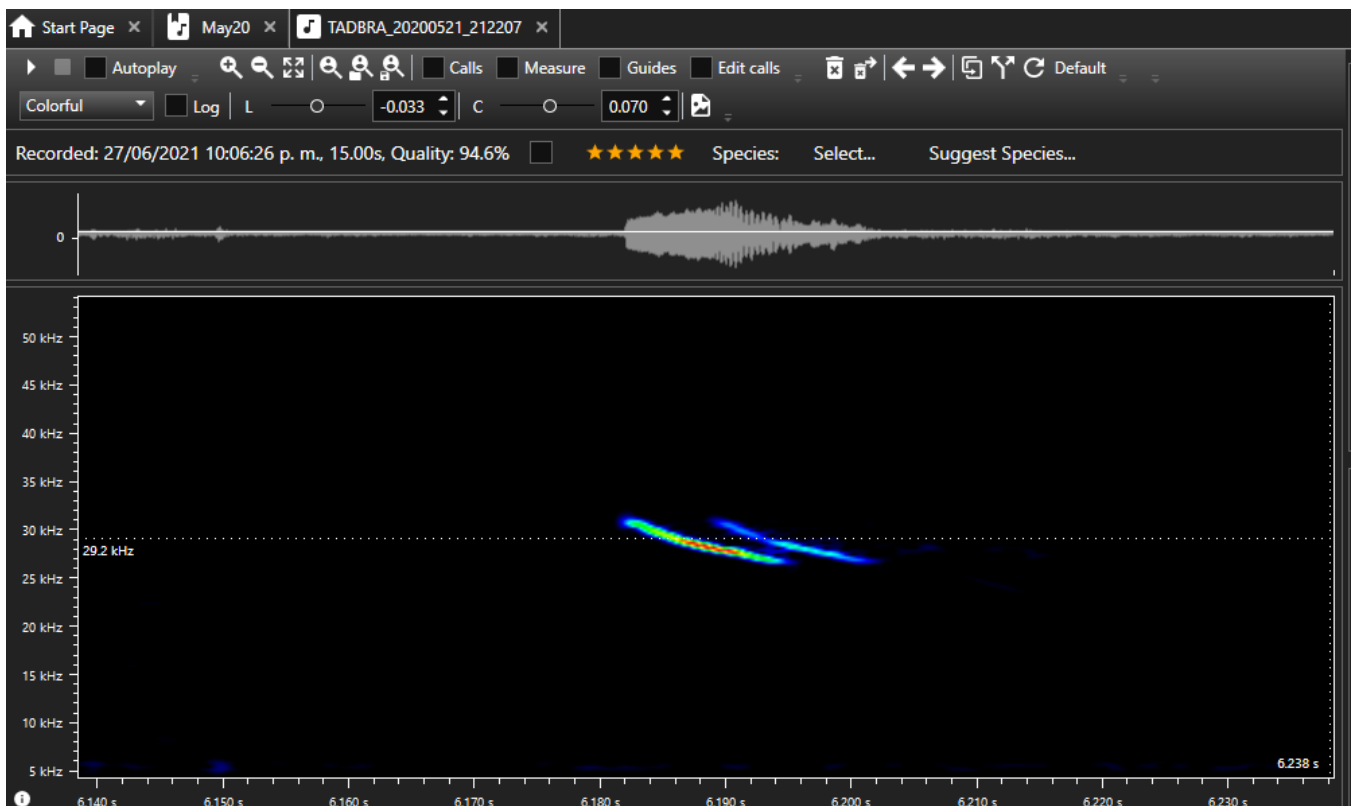


Figura 6: Molosido

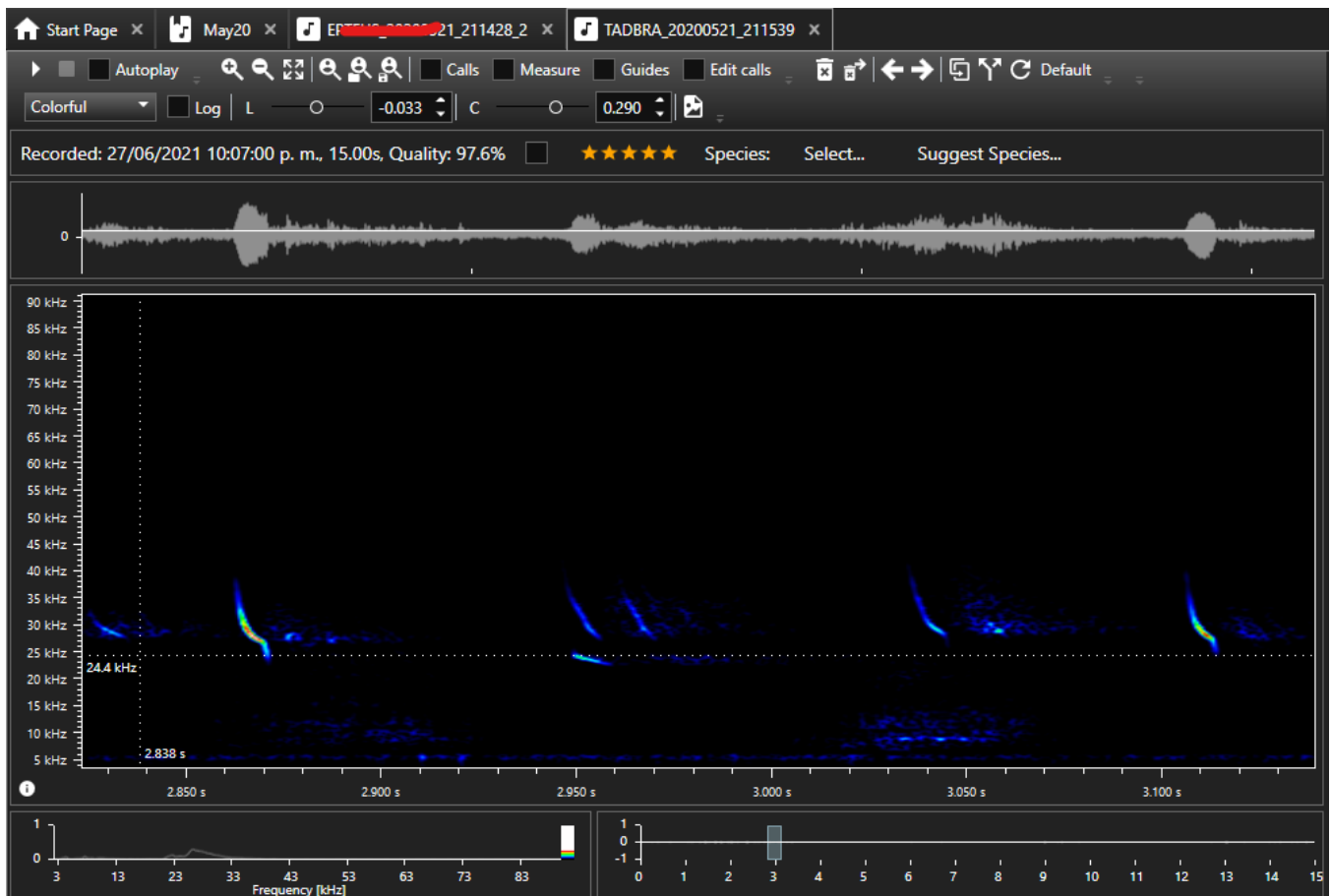


Figura 7: Molosido

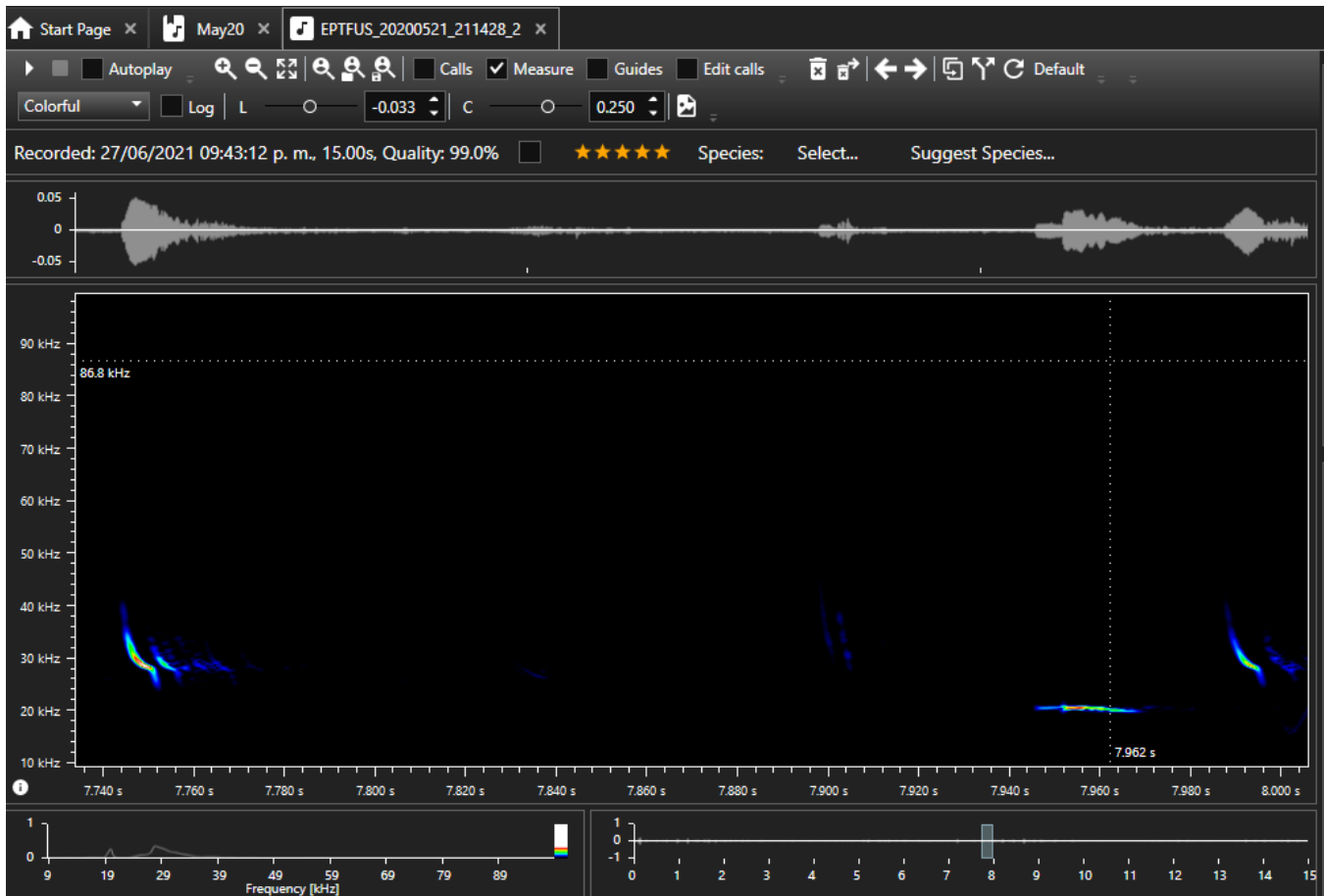


Figura 8: Molosido

## 10.2. Molosido1

Este primer grupo de imágenes corresponde al sonotipo identificado como Molosido1 y que solo se pudo llegar a nivel taxonómico familia

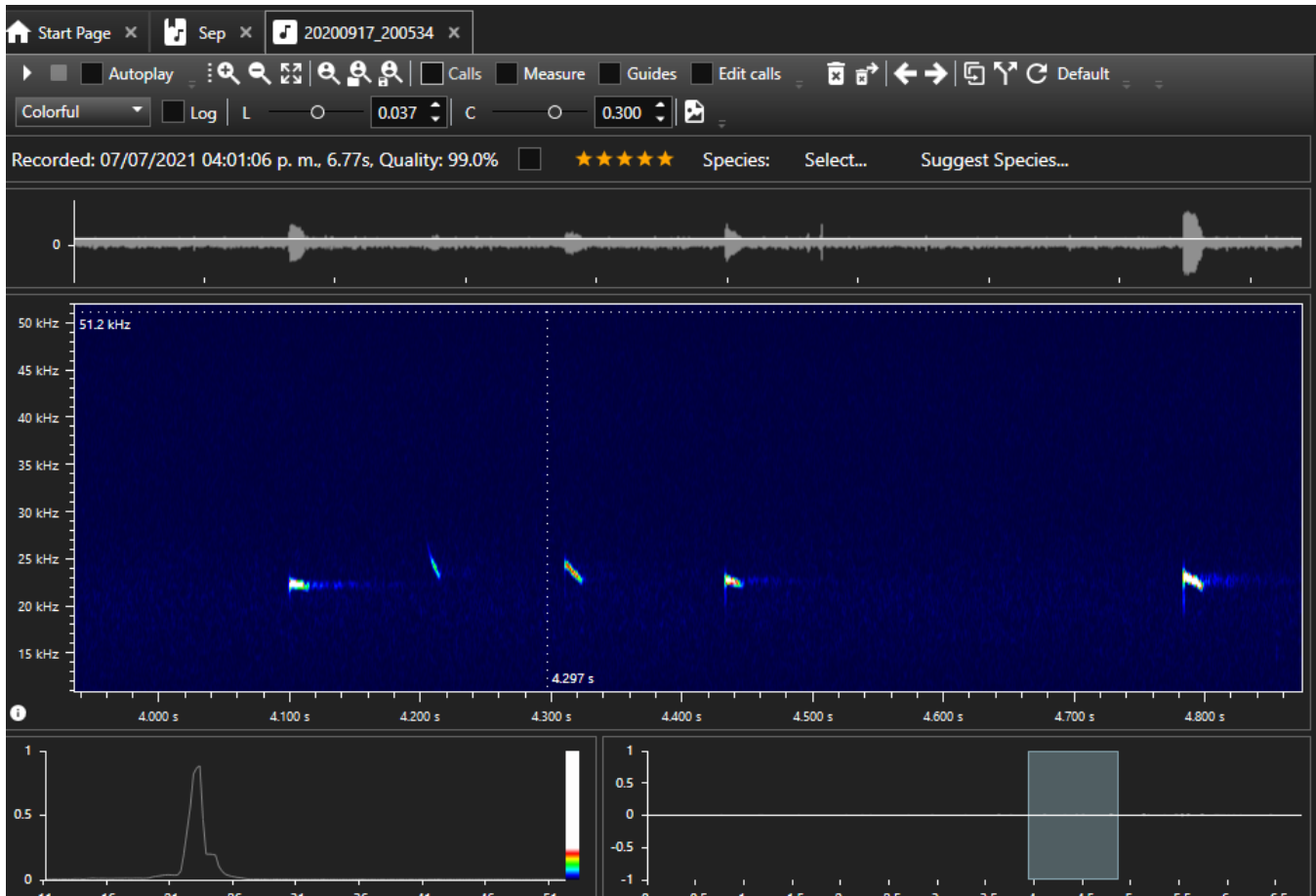


Figura 9: Molosido1

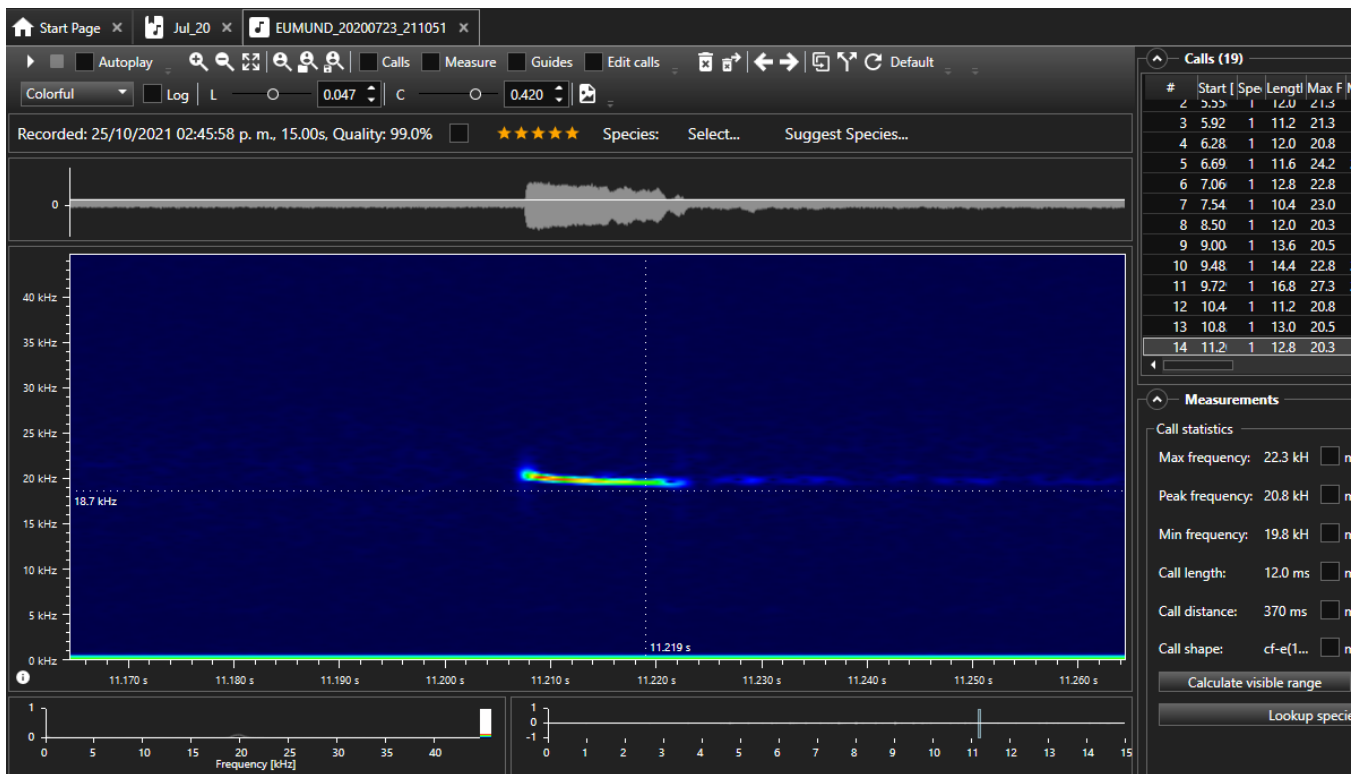


Figura 10: Molosido1

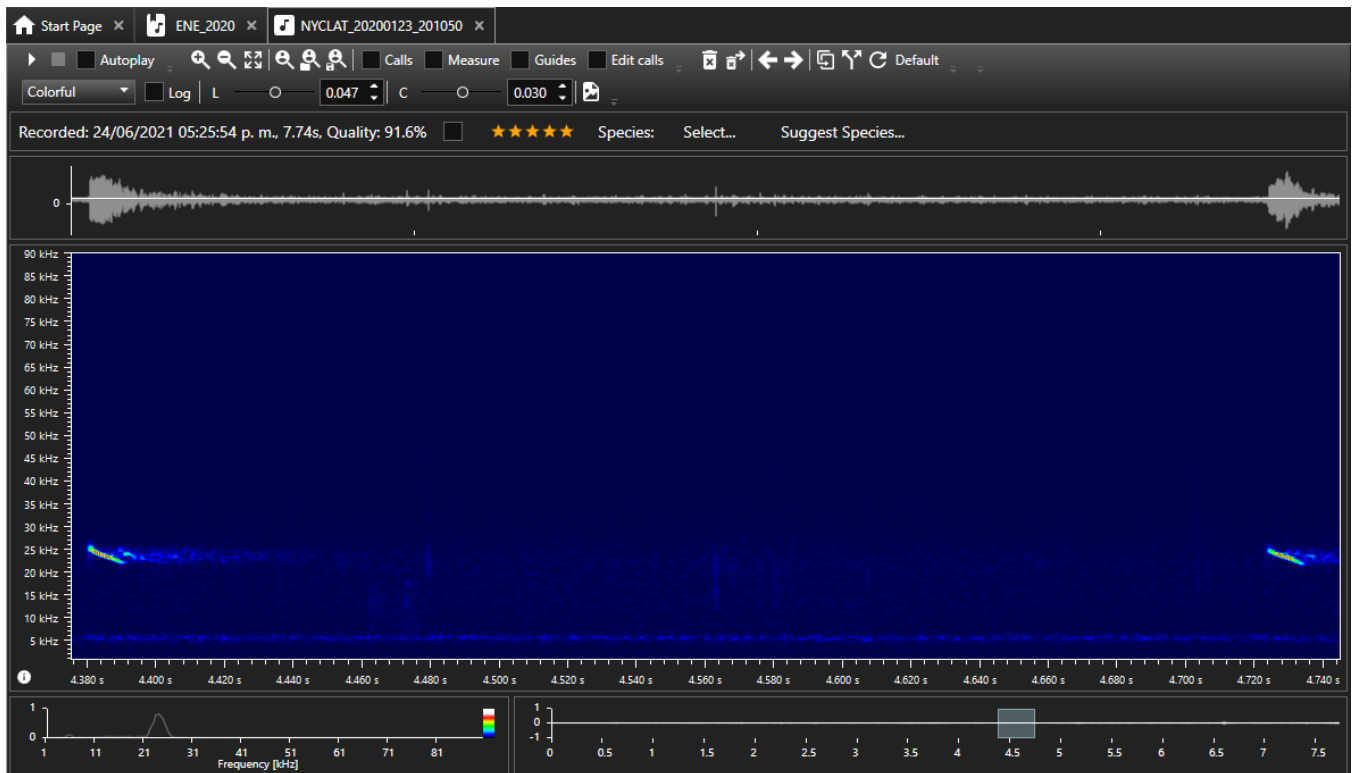


Figura 11: Molosido1



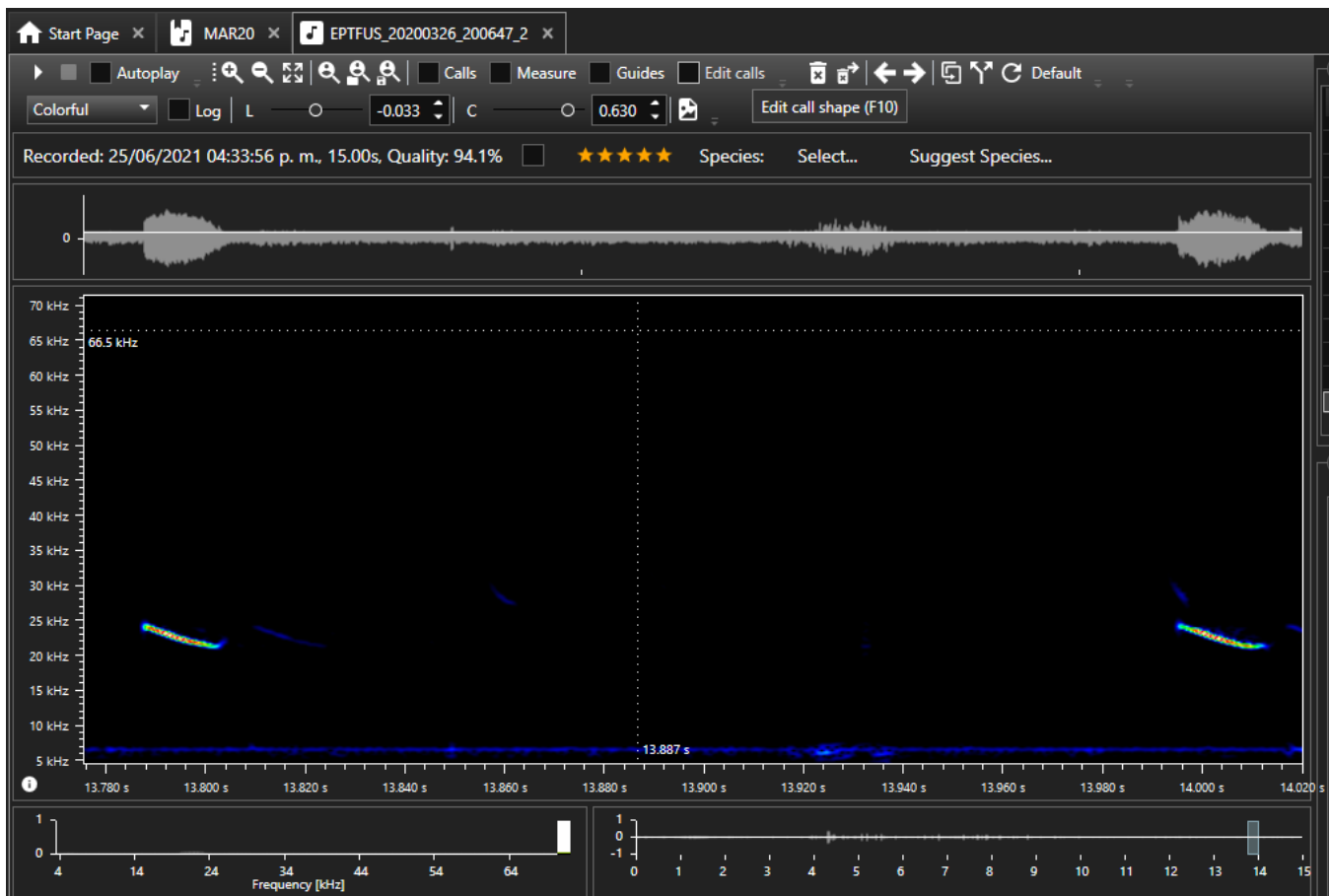


Figura 12: Molosido1

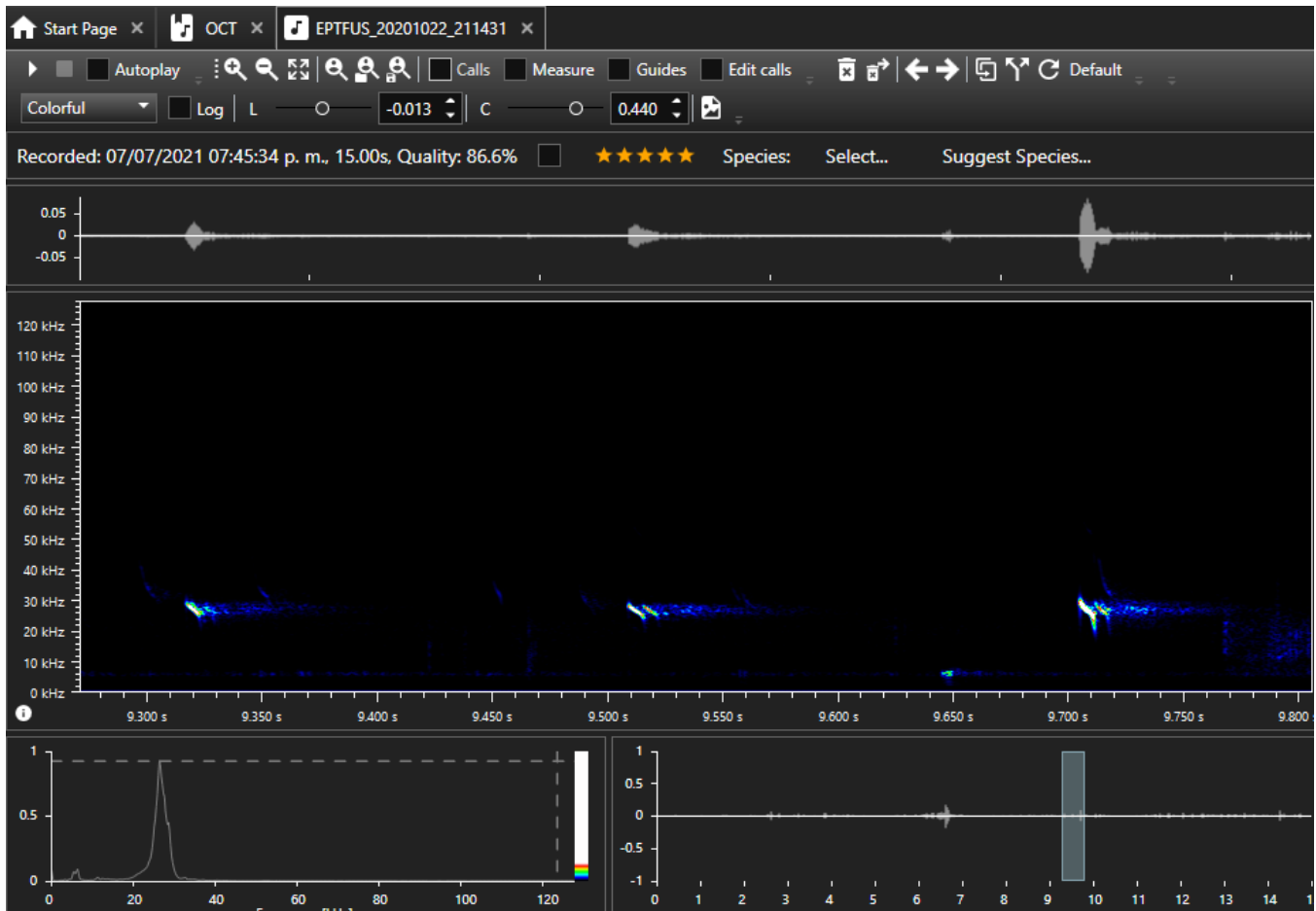


Figura 13: Molosido1

### 10.3. Vesper1

Ahora se agrupan las imágenes del sonotipo Vesper1 que esta relacionado con la especie *Myotis velifer*.

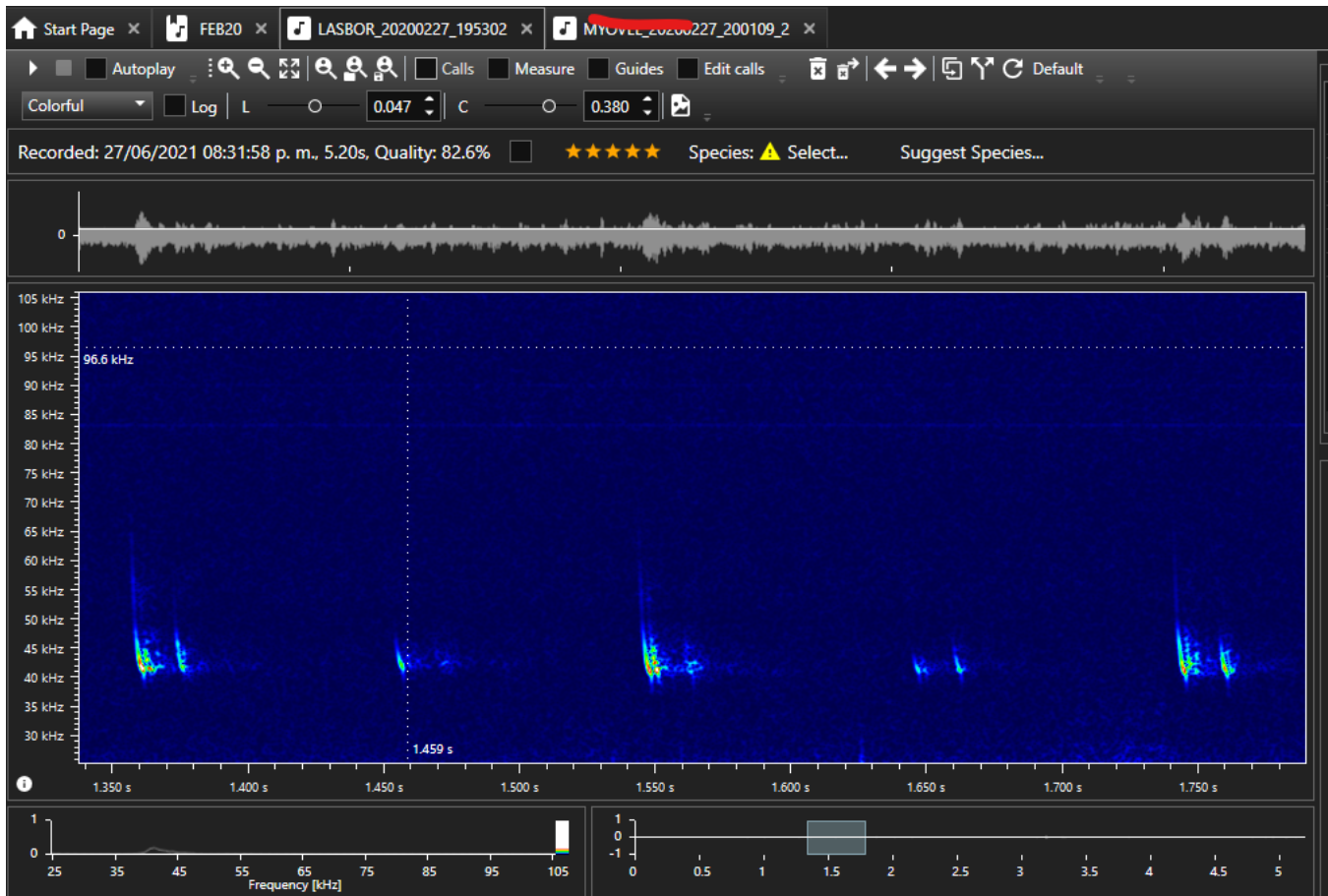


Figura 14: Vesper1

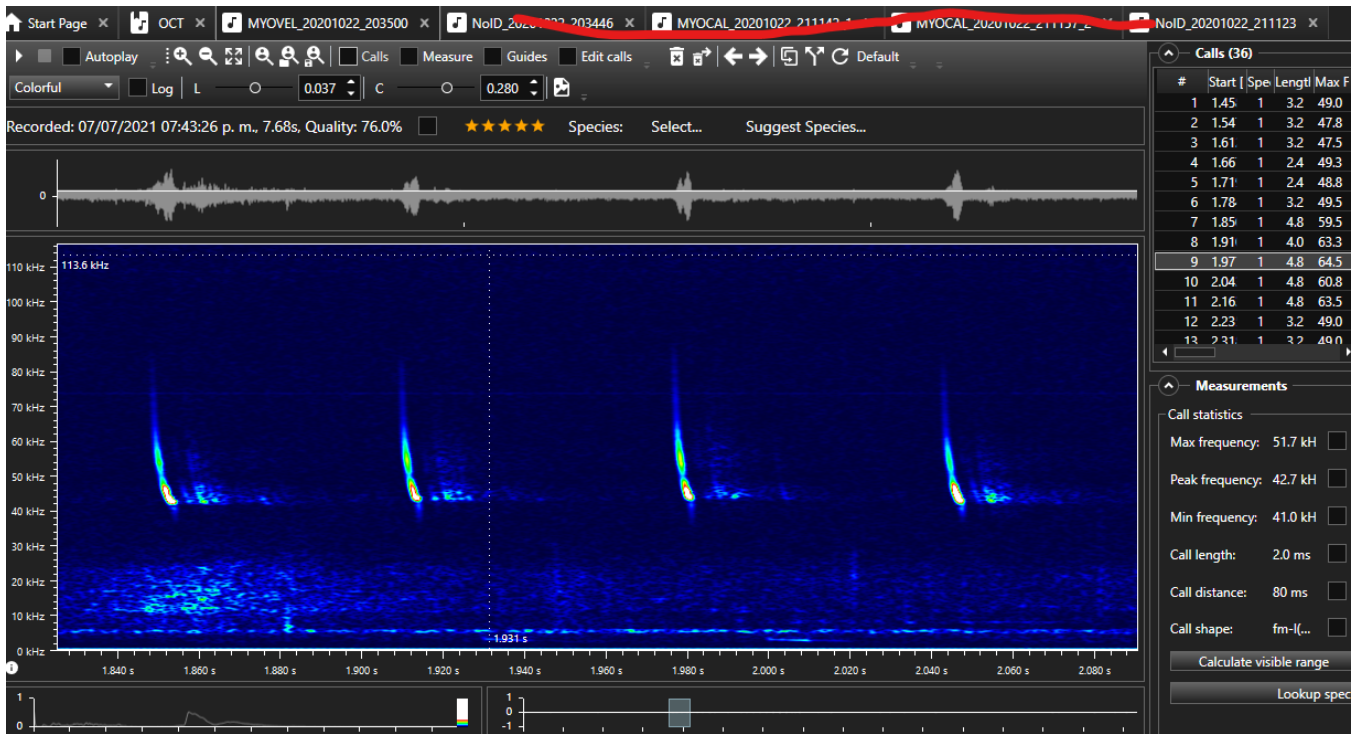


Figura 15: Vesper1

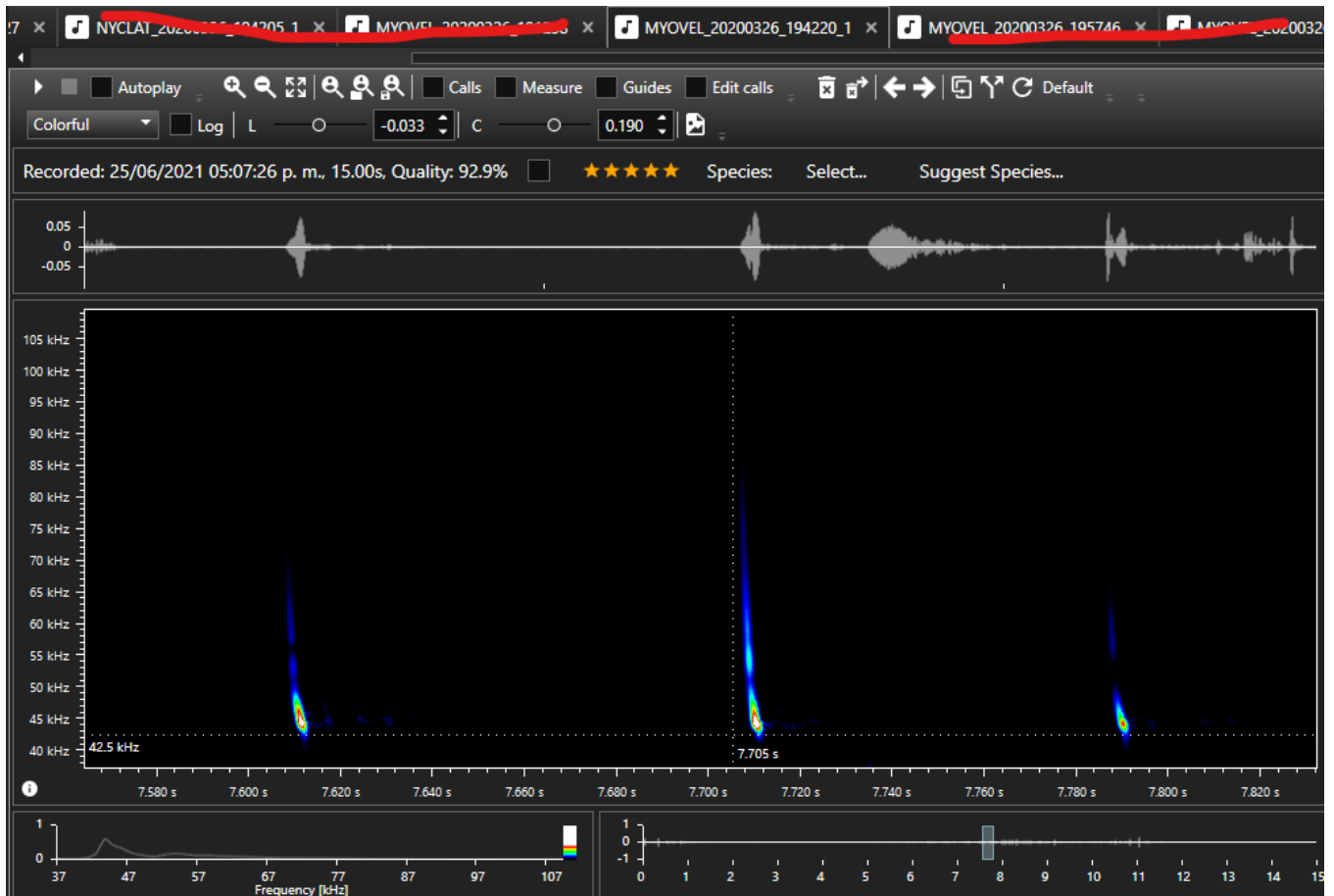


Figura 16: Vesper1

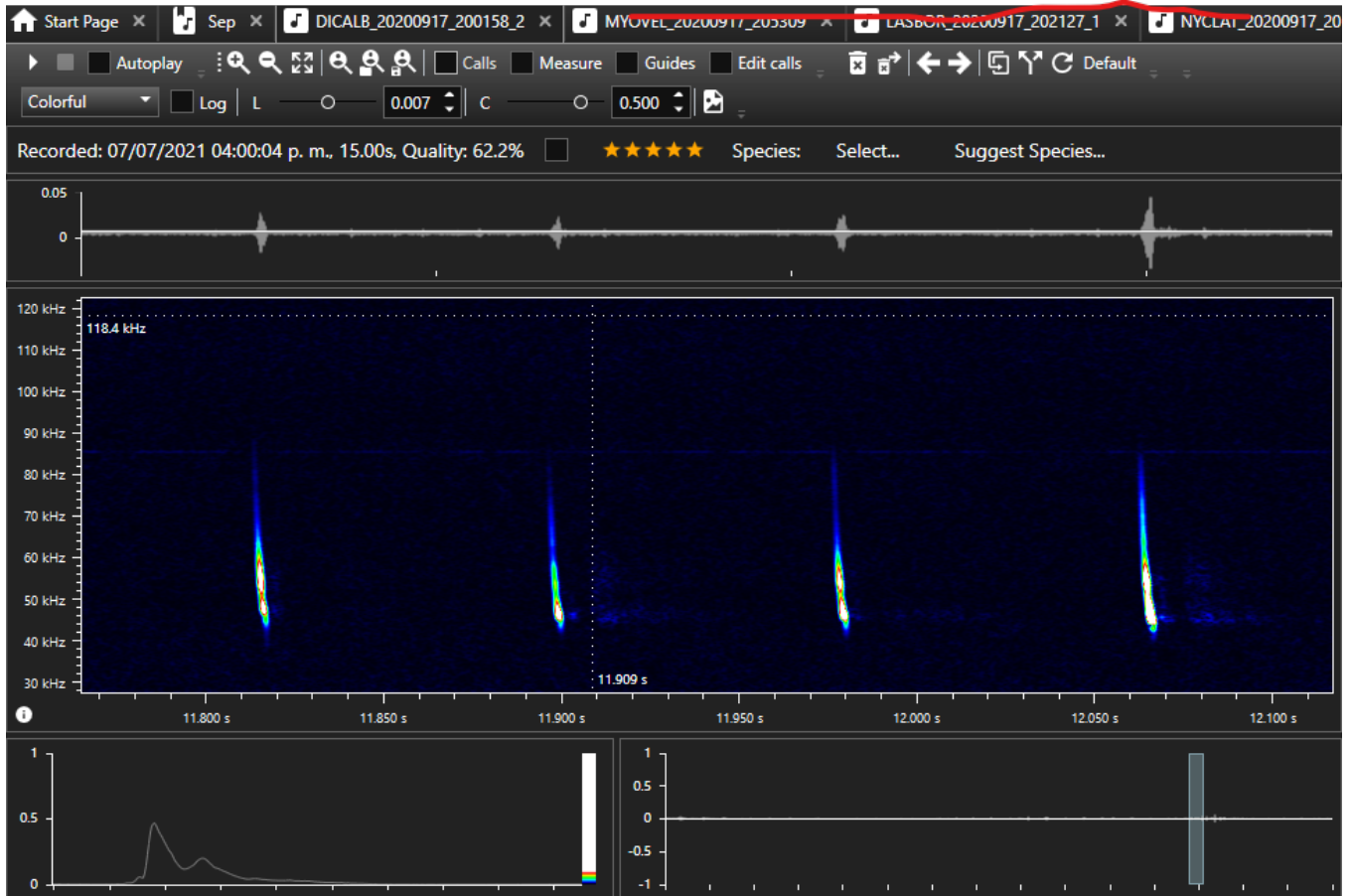


Figura 17: Vesper1



Figura 18: Vesper1

#### 10.4. Vesper2

Por último, se muestran las imágenes de las vocalizaciones pertenecientes a Vesper2, muy relacionadas desde sus aspectos cuantitativos y cualitativos a *Laciurus cinereus*

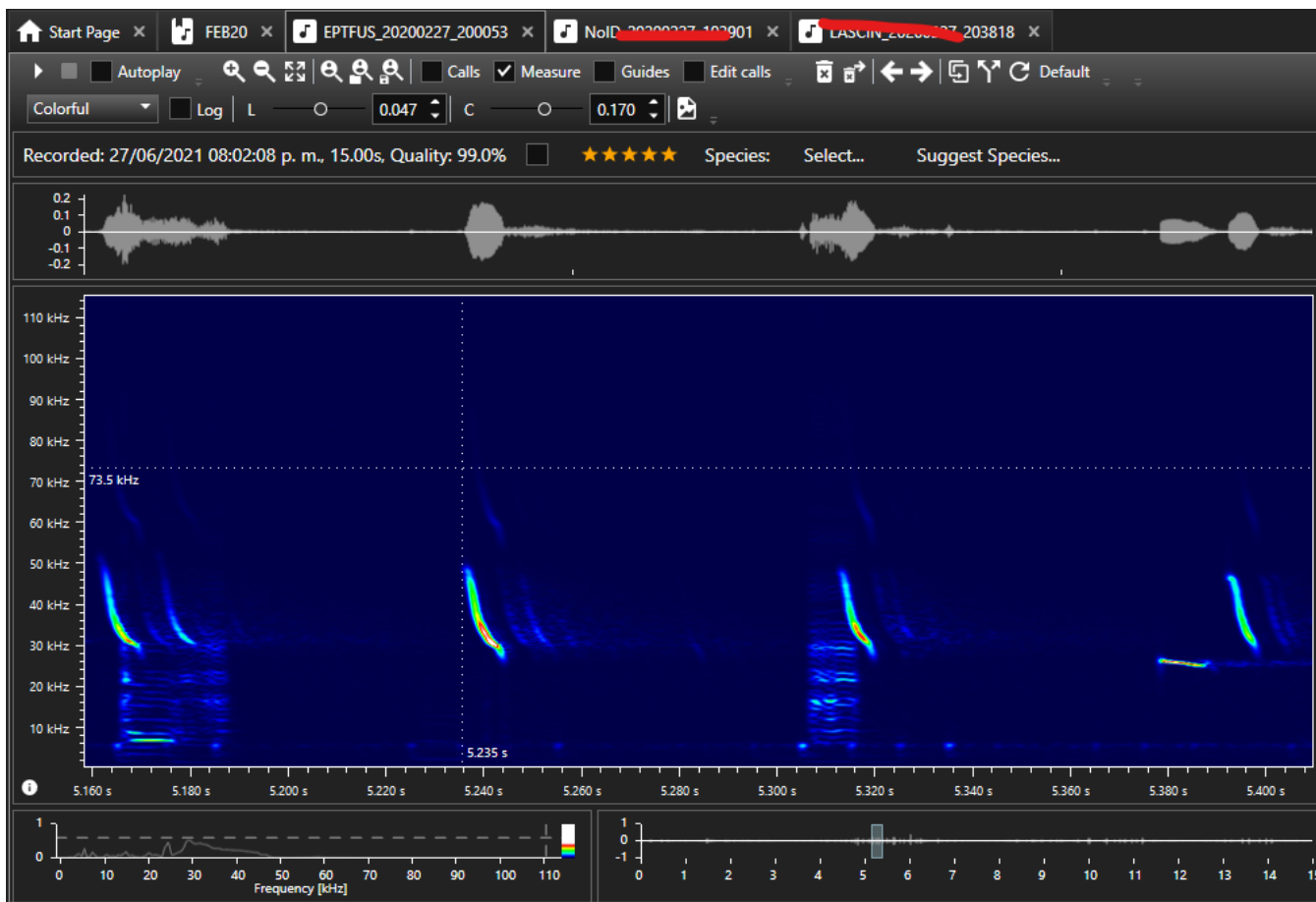


Figura 19: Vesper2



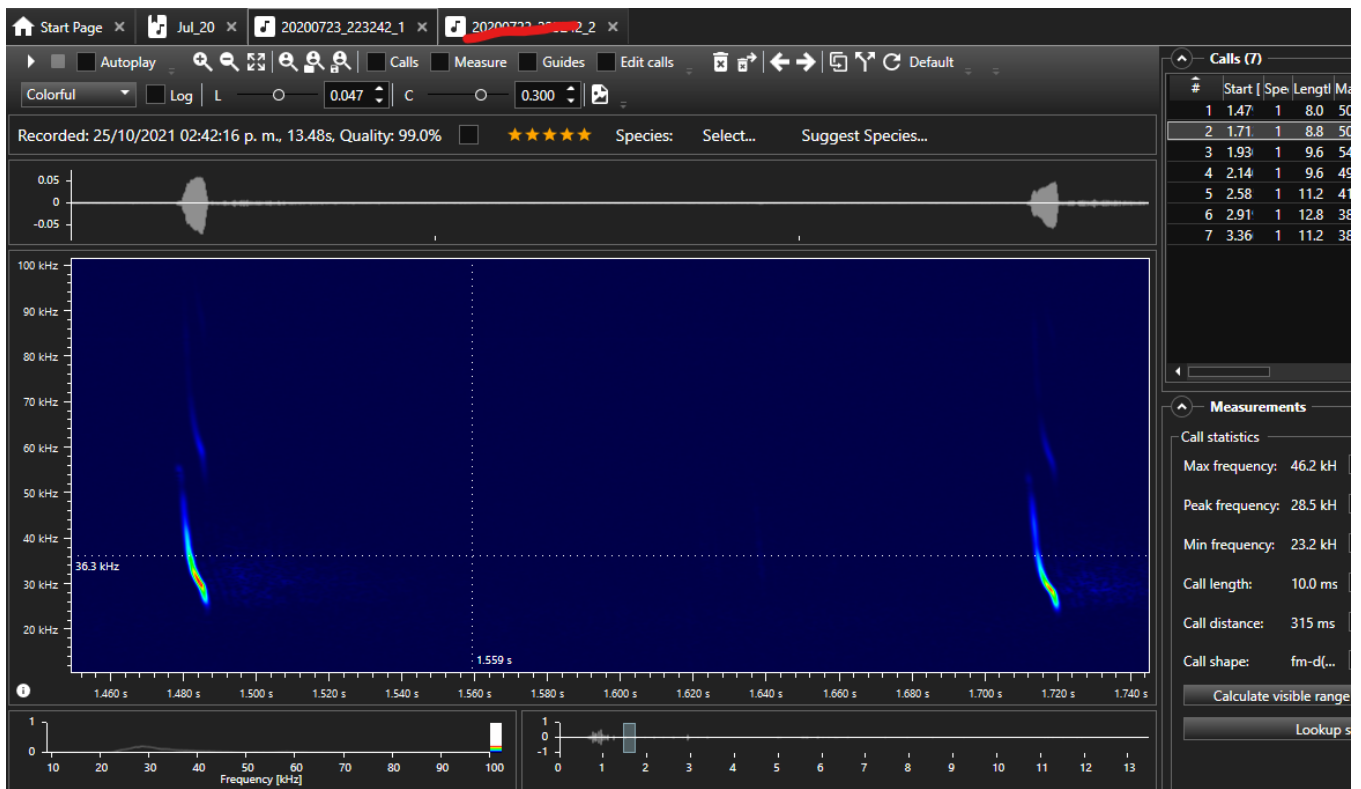


Figura 20: Vesper2

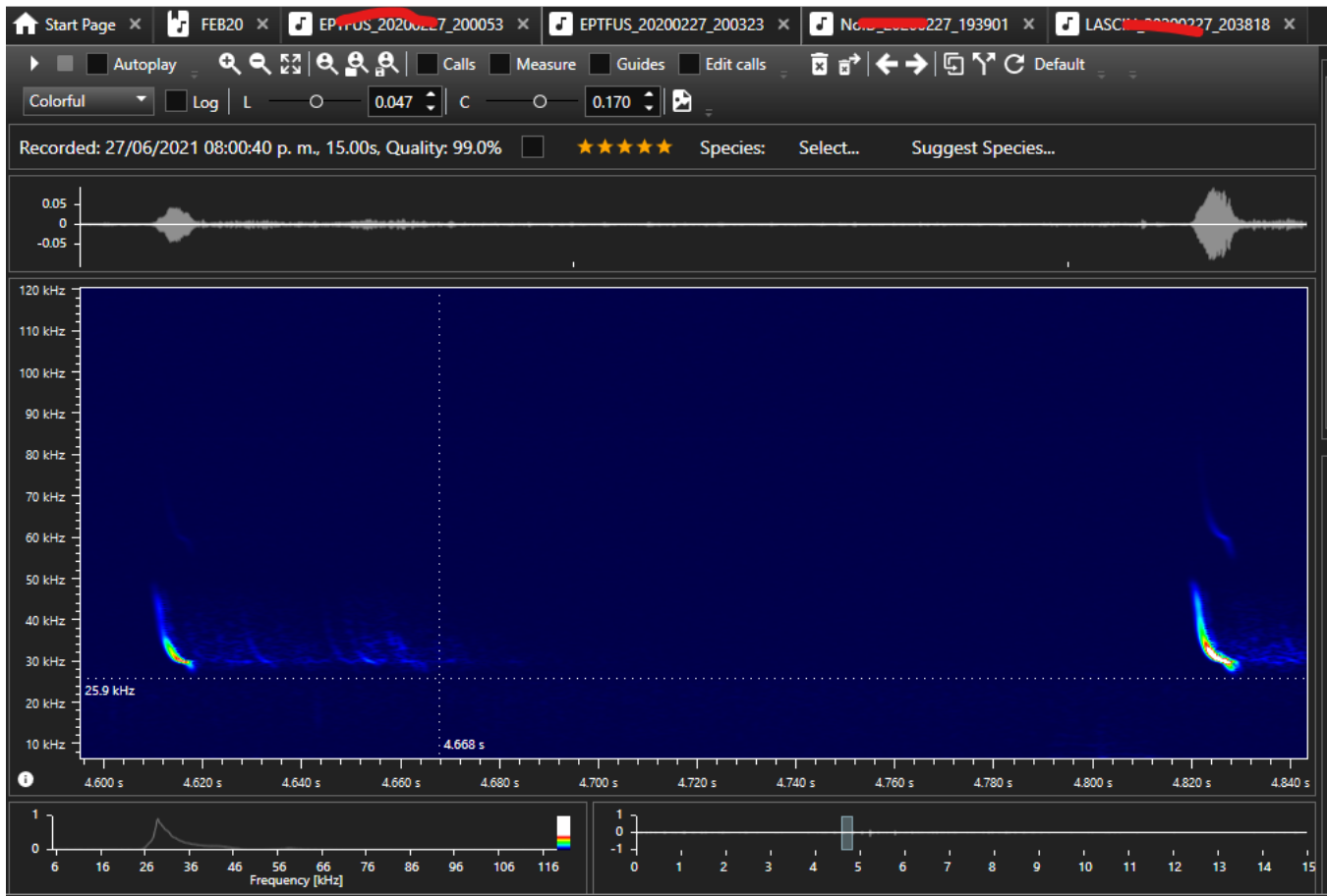


Figura 21: Vesper2

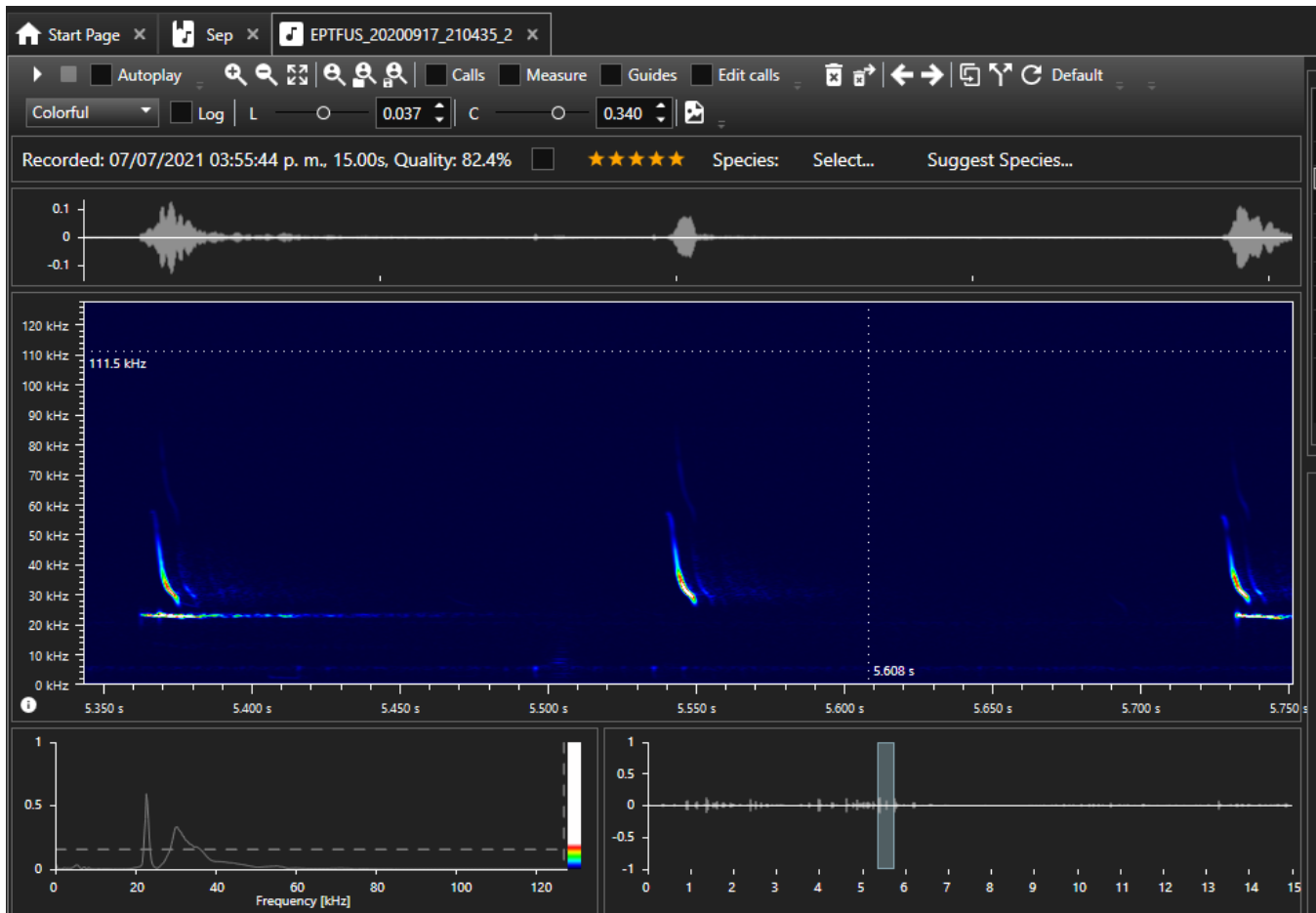


Figura 22: Vesper2

## 10.5. Otros sonotipos registrados

Esta última parte sirve para que se mire en general sobre una cuadro espectrográfico el diferente tipo de vocalizaciones que se llegan a ver, pero que por falta de datos no se pueden clasificar Sonotipo como tal, o bien, pertenecen a otro tipo de vocalización por parte de las especies identificadas.

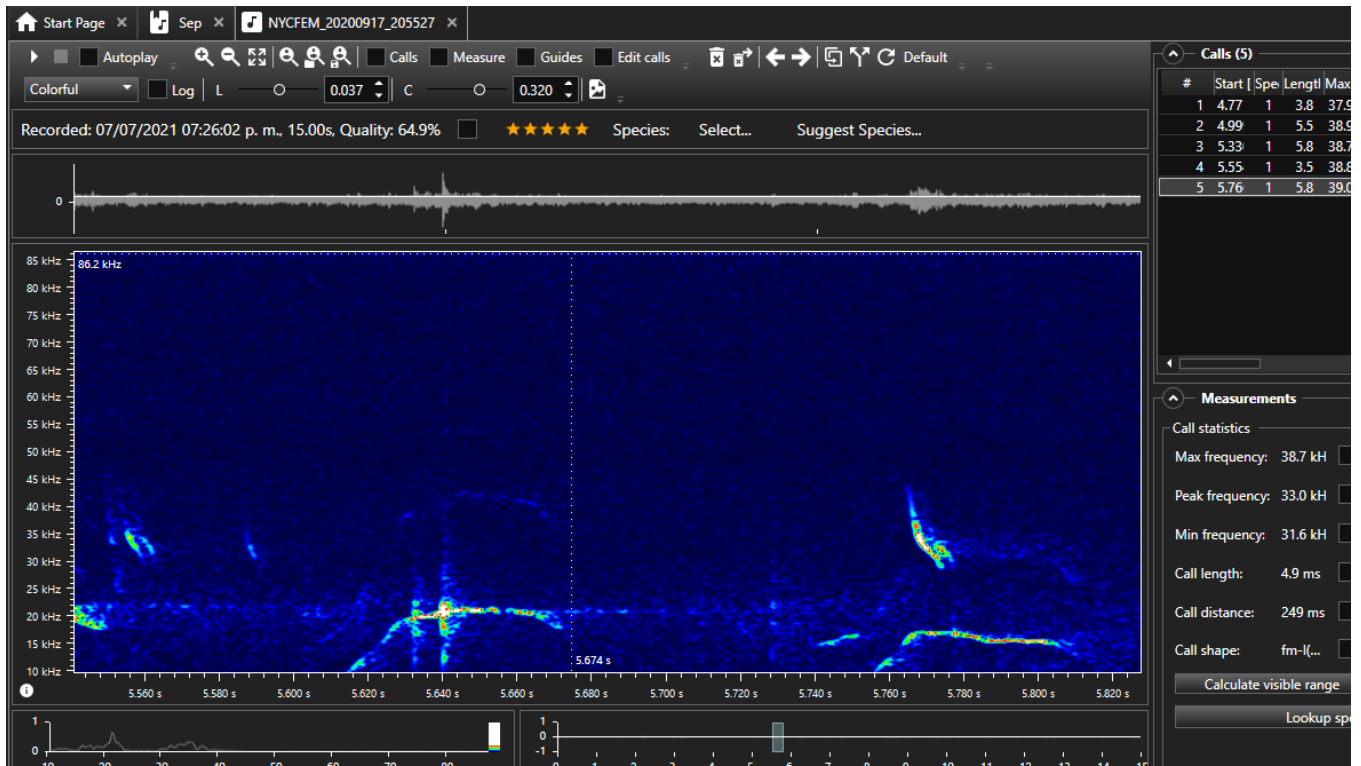


Figura 23: Vocalizaciones

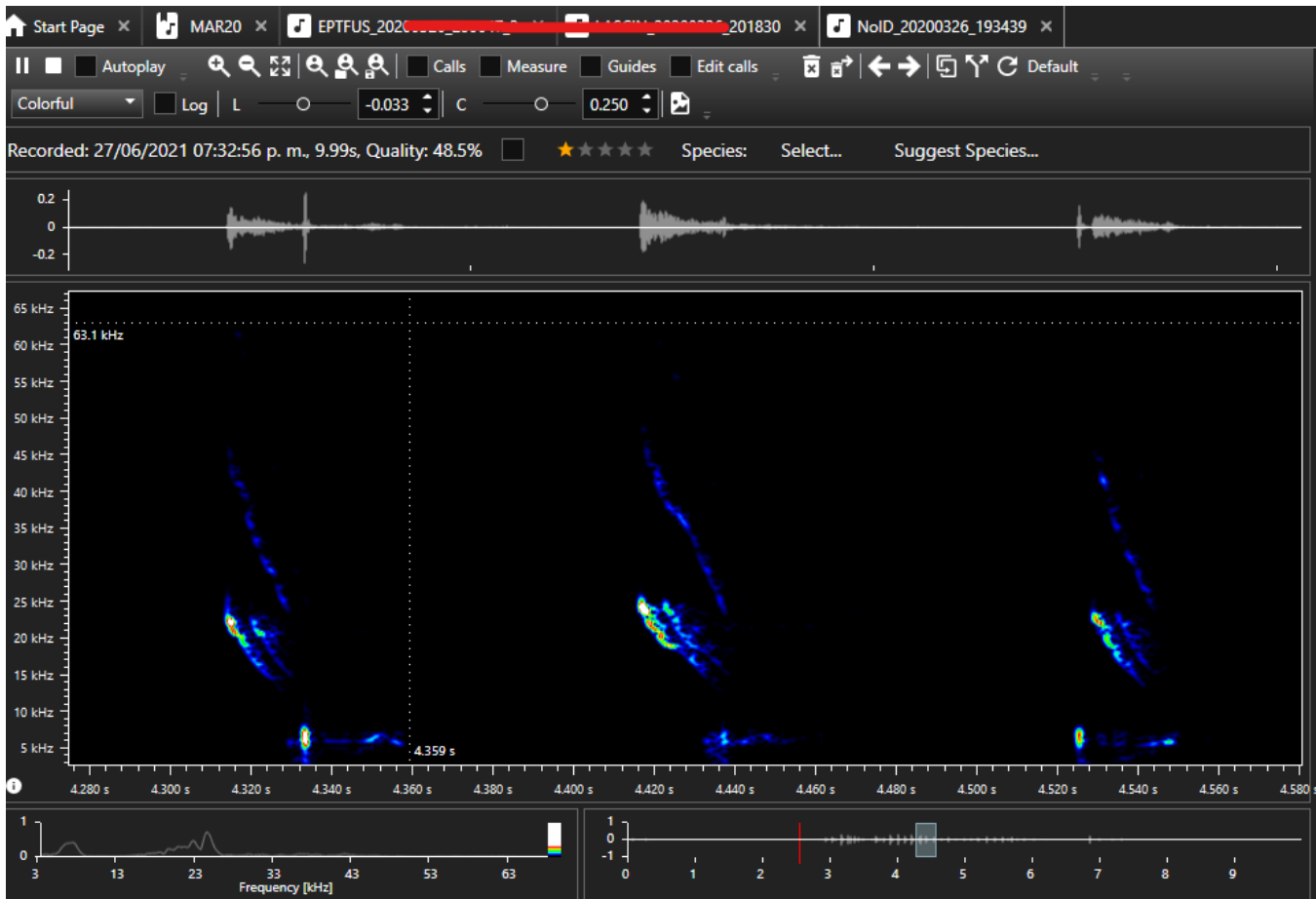


Figura 24: Vocalizaciones



Figura 25: Vocalizaciones



Figura 26: Vocalizaciones

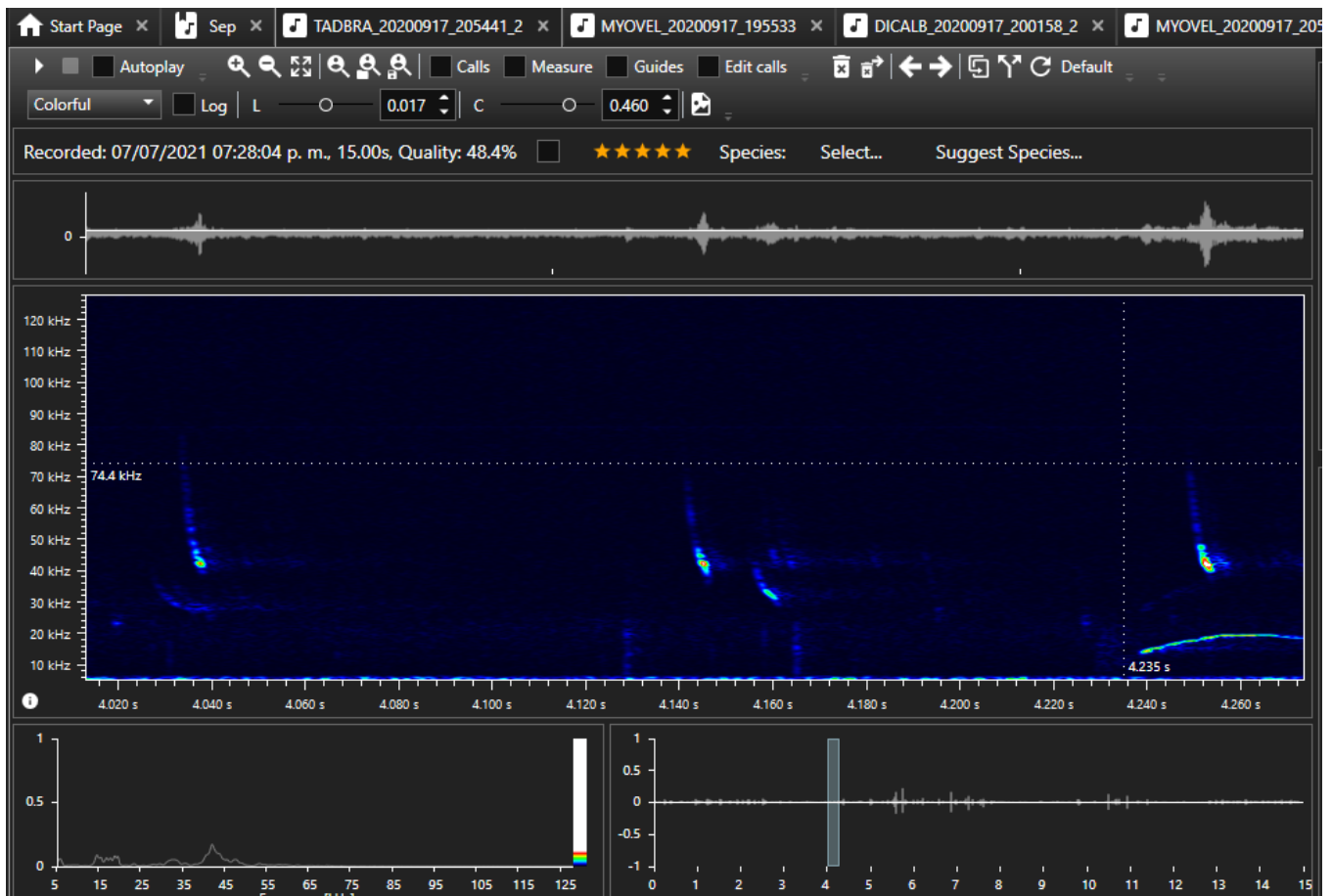


Figura 27: Vocalizaciones