

1 **Comparación de la actividad acústica de murciélagos insectívoros asociados a dos**  
2 **carreteras en un Bosque seco tropical, Antioquia**

3  
4 Estudiante

5 **Geraldine Buitrago Castaño**  
6  
7

8  
9  
10 Director(es)

11 **Danny Zurc PhD (c)**  
12  
13

14 Codirector(es)

15 **Estela Quintero-Vallejo PhD**  
16

17 Trabajo de Grado

18 **En la modalidad de *Investigación***  
19

20  
21 **Programa de Biología**

22 Universidad CES

23 Medellín

24 Noviembre 2024  
25  
26  
27  
28

51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

### **Nota sobre formato del trabajo de grado**

El siguiente trabajo se presenta como un artículo científico, formateado de acuerdo a las instrucciones para autores de la revista *Therya*, las cuales se pueden consultar vía web en: <https://mastoziologiamexicana.com/therya/index.php/THERYA/about/submissions> (revisado el 15 de Noviembre de 2024).

64 **Comparación de la actividad acústica de murciélagos insectívoros asociados a dos carreteras en un**  
65 **Bosque seco tropical, Antioquia**

66 **Comparison of the acoustic activity of insectivorous bats associated with roads in a dry tropical**  
67 **forest, Antioquia**

68 Geraldine Buitrago-Castaño<sup>1</sup>, Estela Quintero-Vallejo<sup>2</sup> y Danny Zurc<sup>3\*</sup>

69 <sup>1</sup>Facultad de Medicina Veterinaria, Zootecnia, Biología y Ecología, Universidad CES, Calle 10ª# 22-04,  
70 El Poblado, Medellín; Colombia. E-mail: [buitrago.geraldine@uces.edu.co](mailto:buitrago.geraldine@uces.edu.co) (GBC)

71 <sup>2</sup>Docente Programa Ecología, Universidad CES, Calle 10ª# 22-04, El Poblado, Medellín; Colombia. E-  
72 mail: [equintero@ces.edu.co](mailto:equintero@ces.edu.co) (EQV)

73 <sup>3</sup>Museo de Ciencias Naturales de La Salle, Instituto Tecnológico Metropolitano, Calle 54A #30-01,  
74 Medellín; Colombia. E- mail: [curaduriamuseo@itm.edu.com](mailto:curaduriamuseo@itm.edu.com) (ZURC)\*

75 **Resumen.**

76 La fragmentación de bosques por infraestructuras de transporte es un problema global que afecta la  
77 ecología de los hábitats. Las carreteras no solo causan pérdida de hábitat, sino que también generan  
78 atropellamientos, cambios en el comportamiento y estructura de las comunidades de la fauna local. Este  
79 estudio desarrollado en Colombia investiga la actividad acústica de murciélagos a diferentes distancias de  
80 una carretera en construcción y una antigua, con el objetivo comprender el impacto de las estructuras  
81 construidas por el hombre por medio de la caracterización de la composición y estructura de los  
82 ensamblajes de murciélagos y establecer diferencias significativas en su comportamiento y actividad de  
83 forrajeo. Se realizó un muestreo acústico, cuyos datos se procesaron en el software BatExplorer. Se  
84 comparó la estructura y composición de los ensamblajes de murciélagos mediante curvas de rarefacción y  
85 análisis de conglomerados. La actividad acústica se midió utilizando el Índice de Actividad Acústica (AI)  
86 y se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) para determinar la influencia de la distancia y el tipo de  
87 carretera en la actividad de forrajeo. Se encontró que la carretera antigua presentó una mayor riqueza de  
88 sonoespecies. Al igual que el AI siendo mayor a 2,000 metros. En contraste, la carretera en construcción  
89 mostró un AI superior a 0 metros. Las interacciones entre la distancia y el tipo de carretera también  
90 resultaron significativas. Además, se observaron diferencias en las secuencias de forrajeo, con mayor  
91 actividad en la carretera antigua. Aun cuando se reconocen limitaciones en este estudio tales como no  
92 considerar otras perturbaciones y la variabilidad temporal, los hallazgos subrayan la importancia de  
93 integrar consideraciones ecológicas en la planificación vial para mitigar los efectos negativos sobre la  
94 biodiversidad.

95 **Palabras clave:** bioacústica, Chiroptera, diversidad, ecolocalización, infraestructura lineal.

96 **Abstract.**

97 Forest fragmentation due to transportation infrastructure represents a significant global challenge that has  
98 far-reaching implications for the ecological integrity of habitats. In addition to contributing to habitat loss,  
99 roads have been shown to result in increased mortality among wildlife and alterations in animal behavior  
100 and community structure. This study was conducted in Colombia to investigate the acoustic activity of  
101 bats at varying distances from a road under construction and an old road. The aim was to characterize  
102 the composition and structure of bat assemblages and identify significant differences in behavior and  
103 foraging activity to gain insights into the impact of human-made structures on their natural behavior. The  
104 data were processed using BatExplorer software. The composition and structure of the bat assemblages  
105 were evaluated using rarefaction curves and cluster analysis. The acoustic activity was quantified using  
106 the Acoustic Activity Index (AI), and analyses of variance (ANOVA) were employed to assess the impact  
107 of distance and road type on foraging activity. The findings indicated that the old roadroadway exhibited a  
108 greater diversity of sonospecies and AI ,with the highest values observed at 2,000 meters. In contrast, the  
109 road under construction exhibited a higher AI at 0 meters. The interactions between distance and road type  
110 were also significant. Differences in foraging sequences were also observed, with higher activity on the  
111 old road. Although this study had limitations such as lack of consideration of other disturbances and  
112 temporal variability, the findings highlight the importance of integrating ecological considerations into  
113 road planning to mitigate negative effects on biodiversity.

114 **Keywords:** bioacoustics, Chiroptera, diversity, echolocation, linear infrastructure.

115

116

117

118

119

120

121

122

## Introducción

123 La fragmentación de los bosques causada por despejar las zonas rurales y urbanas es un problema global  
124 (Goosem 2004), puesto que los corredores lineales asociados a la infraestructura de transporte son  
125 transformados en las carreteras, autopistas y vías férreas (Goosem 2004), las cuales permanecen en  
126 constante expansión y dominan la mayoría de los paisajes a nivel global (Ree *et al.* 2015), por lo que en  
127 los últimos 30 años se ha prestado una atención significativa a lo que se denominó como “ecología de  
128 carreteras”, enfocada en entender y mitigar los impactos de las infraestructuras viales (Forman *et al.*  
129 2002).

130 De acuerdo con Forman *et al.* (1997), las carreteras traen consigo efectos negativos en el área circundante  
131 a la carretera, que afectan a la vegetación, artrópodos y los vertebrados. A este aspecto el mismo  
132 autor lo denomina como la “zona de efecto de las carreteras” sugiriendo que estos efectos son  
133 mucho más amplios a la superficie física de la carretera. El tamaño de la zona de efecto de carretera  
134 está determinado por factores como el tráfico vehicular, la sensibilidad de las especies al impacto, la  
135 dirección y velocidad del viento, así como las características de la carretera (Forman *et al.* 1997;  
136 Ree *et al.* 2015). Como resultado, los principales efectos negativos de las carreteras sobre la fauna  
137 son: la pérdida de hábitat, el efecto de barrera, el atropellamiento y la degradación del hábitat  
138 (Altringham y Kerth 2016), los cuales se pueden presentar durante la construcción de la línea vial y  
139 cuando entra en operación (Goosem 2007). En general, las carreteras tienen un efecto negativo  
140 sobre la fauna, el cual puede que disminuir conforme se aleja de la línea vial. Solo para unas pocas  
141 especies muy generalistas funciona de forma contraria, como para algunas aves carroñeras o  
142 herbívoros (Coffin 2007; Trombulak y Frissell 2000).

143 En particular, los murciélagos insectívoros son buenos indicadores de la calidad del hábitat y de los  
144 efectos producidos por los humanos. Esto debido a su nivel en la cadena trófica y a la baja  
145 tolerancia de algunas especies a la contaminación sonora y pérdida del hábitat (Jones *et al.* 2009).  
146 Por ejemplo, algunos murciélagos insectívoros como los forrajeadores de tipo “gleaning” (localizan

147 a sus presas por el sonido que emiten), son más susceptibles al enmascaramiento por el ruido  
148 antropogénico debido a que emiten sonidos de bajas frecuencias (Fenton y Bell 1981; Bunkey *et al.*  
149 2015). Por su parte, Medina *et al.* (2019) sugieren que aquellas especies que forrajean en espacios  
150 cerrados y bordes son más susceptibles a los efectos de las carreteras como la luz y el ruido, que  
151 aquellas que forrajean en zonas abiertas e indica que se debe más a la disponibilidad de recursos.

152 Además, Forman y Alexander (1998) indican que el ruido del tráfico y el comportamiento de evasión que  
153 presentan algunas especies de murciélagos parece generar un mayor efecto ecológico, comparado  
154 con el atropellamiento; puesto que, si bien la mayor energía del ruido del tráfico se encuentra en el  
155 espectro de sonido audible (20 Hz- 20.000 Hz), también tiene componentes que pueden alcanzar el  
156 ultrasonido (20.000 Hz en adelante), que se disipan mediante se aleja de la línea vial (Siemers y  
157 Schaub 2011). Además, se conoce que los murciélagos reducen la actividad de forrajeo cerca de las  
158 carreteras por el alumbrado público y ruido intenso del tráfico (Luo *et al.* 2015; Schaub *et al.* 2008;  
159 Siemers y Schaub 2011), al igual que restringen su acceso a algunos hábitats fragmentados por  
160 carreteras (es decir, efecto de barrera) (Kerth y Melber 2009).

161 Según Claireau *et al.* (2019), las respuestas conductuales de los murciélagos a la distancia de las carreteras  
162 no siempre siguen el mismo patrón y los efectos de las carreteras pueden diferir según el  
163 comportamiento de la especie y las características de la zona. Jung y Kalko (2010) habían  
164 mencionado acerca de cómo los cambios en el paisaje pueden afectar la disponibilidad de presas y  
165 las oportunidades de forrajeo. Para el 2020 la mayor concentración de estudios sobre el impacto de  
166 los murciélagos frente a las carreteras ha sido en Europa (Ramalho y Aguiar 2020). En algunas de  
167 estas investigaciones la estimación de la actividad acústica o el índice de actividad ha sido útil para  
168 evaluar el impacto de las líneas viales (Berthinussen y Altringham 2012; Dixon 2012; Foxley *et al.*  
169 2023; Medinas *et al.* 2019; Myczko *et al.* 2017). En Sur América hasta la fecha solo se conoce un  
170 estudio que evalúa el impacto teniendo en cuenta la actividad acústica de los murciélagos (Ramalho  
171 *et al.* 2021)

172 En Latinoamérica, específicamente en Colombia, hay un interés creciente en el estudio de la bioacústica  
173 de los mamíferos voladores (Zurc et al. 2017; Pinilla y Rodríguez-Bolaños 2017). ya que esta ha  
174 demostrado ser una herramienta con un gran potencial para monitorear organismos que emiten  
175 sonidos y responden a diferentes preguntas ecológicas, comportamentales y taxonómicas  
176 (Hernández Leal *et al.* 2021; Ramírez-Chaves *et al.*2023). Particularmente, los sonidos de  
177 ecolocación de los murciélagos han sido una ciencia ampliamente utilizada para el estudio de los  
178 grupos que están sesgados a otros métodos de captura tradicionales, debido a que algunas especies  
179 son solitarias y se encuentran en zonas de difícil acceso (Miller 2001). Entre las familias de vuelo  
180 alto se puede encontrar a Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae, y en específico algunas  
181 especies que presentan este tipo de vuelo son *Saccopteryx leptura* y *Peropteryx macrotis*  
182 (MacSwiney *et al.* 2008).

183 En dicho país se ha implementado la construcción de concesiones viales como parte de su desarrollo  
184 socioeconómico. Para el año 2021 el departamento de Antioquia contaba con el mayor número de  
185 kilómetros construidos en concesiones viales (Rojas López y Ramírez Muriel 2018), así mismo,  
186 este departamento contaba con 53.069 hectáreas de Bosque seco tropical (BsT) (IAvH &  
187 CORANTIOQUIA, 2014; Ministerio de transporte, 2022), el cual es considerado un ecosistema que  
188 se encuentra en riesgo crítico debido a uso desmedido para ganadería, cultivos y proyectos de  
189 infraestructura vial, llevando consigo una modificación en la cobertura original de los bosques  
190 (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010).

191 Es por lo anterior que el objetivo de este trabajo fue comparar la actividad acústica y el ensamble de  
192 murciélagos insectívoros asociados a diferentes distancias de una carretera En Construcción y una  
193 Carretera Antigua en un Bosque seco tropical. Bajo la hipótesis de encontrar una diferencia  
194 significativa en la actividad de murciélagos (Índice de actividad y cantidad de secuencias entre  
195 ambas carreteras y entre las distancias a) mayor número de secuencias en fase de alimentación a  
196 mayor distancia de la carretera, b) mayor actividad en la carretera Antigua.

197

## Materiales y Métodos

### 198 *Área de estudio*

199 La Troncal de Occidente atraviesa el país de norte a sur y cuenta con aproximadamente 1778 km en  
200 pavimento (Ministerio de transporte 1994). El área de estudio se ubica en las márgenes de los tramos que  
201 atraviesan los municipios de La Pintada y Valparaíso, al suroeste del departamento de Antioquia, entre el  
202 piedemonte de la Cordillera Central y Occidental. Esta zona corresponde al Bosque seco Tropical (BsT)  
203 del valle del río Cauca (Pizano y García 2014). Estas zonas adyacentes al río Cauca son consideradas  
204 cálidas con una temperatura promedio anual entre 24-25°C para ambos municipios (Velásquez *et al.*  
205 2006).

206 La zona de estudio corresponde a dos carreteras: 1) La Pintada-Primavera tramo 2509 (5°45' 17.1" N,  
207 75°36' 38.4" W) y hace parte del megaproyecto "Autopistas para la Prosperidad", específicamente  
208 corresponde a la Concesión Autopista Conexión Pacífico 2. Esta es una vía totalmente  
209 pavimentada, 4G y de una calzada con dos carriles que se encuentra en operación con un alto flujo  
210 vehicular de aproximadamente 6,073 vehículos/día. Esta carretera en adelante será denominada  
211 como "Antigua". 2) La Felisa-La Pintada tramo 2508 (5°45' 17.1" N, 75°36' 38.4" W). Esta  
212 carretera se encuentra bajo el proyecto Concesión Autopista Conexión Pacífico 3. Esta es una vía  
213 totalmente pavimentada, 4G y de una calzada se encontraba en etapa de construcción con un avance  
214 del 86 % para el mes de febrero del año 2023. Se encontraba en operación con un alto flujo  
215 vehicular de aproximadamente 5,158 vehículos/día. Esta carretera en adelante ha sido denominada  
216 como "En Construcción".

217 De acuerdo con el análisis cartográfico, siguiendo la metodología del Sistema Corine Land Cover  
218 (IDEAM 2020). En los municipios donde se ubica la carretera Antigua y En Construcción  
219 predominan las áreas seminaturales (26 % y 17 %), territorios agrícolas y cuerpos de agua (72 % y  
220 85 %). Las distancias dentro de la carretera Antigua abarcan coberturas que corresponden a:

221 vegetación secundaria alta y mosaicos entre cultivos, pastos y espacios naturales, donde las áreas de  
222 espacios naturales ocupan un 70 % del área total y la pueden conformar relictos de bosque,  
223 arbustales, vegetación secundaria o en transición (Ardila y Garcia 2016). La zona que delimita el  
224 municipio de la Pintada con el municipio de Valparaíso, que es donde se encuentran los sitios  
225 carretera En Construcción se encuentra mayoritariamente cubierto por zonas deforestadas y  
226 cubiertas por pastos o rastrojo, que son usadas para ganadería, en la margen de la franja vial se  
227 encuentra el afluente correspondiente al río Cauca.

### 228 *Muestreo acústico*

229 El muestreo acústico presente estudio es un set de datos de registros acústicos obtenidos entre los meses  
230 de julio y noviembre del año 2022 de la tesis doctoral de la Universidad de Antioquia titulada  
231 “Identificación del efecto de factores ambientales asociados a la distancia de la infraestructura vial  
232 en murciélagos, a partir de un análisis de rasgos funcionales y marcas epigenéticas”. Con esta  
233 información se hizo una selección de dos puntos acústicos de muestreo, para ello se consideró los  
234 resultados del estudio de Delaval y Charles-Dominique (2006), en el cual presentaron efectos de la  
235 carretera en una comunidad de murciélagos hasta los 3km. Además, de considerar información  
236 brindada por los funcionarios de las concesiones, los cuales correspondieron a sitios cercanos a  
237 refugios de murciélagos o sitios donde se había realizado un ahuyentamiento de este tipo de fauna.  
238 Por lo anterior, un punto de muestreo fue a la distancia de 0 metros de la línea vial con un buffer de  
239 300 metros y el segundo a 2000 metros de distancia del punto 0 metros de la carretera (Figura 1).

240 Para el registro de sonidos de los murciélagos, se usaron grabadoras Audiomoth v 1.2.0 con un micrófono  
241 MEMs análogo y SM4BAT FS con un micrófono ultrasónico SMM-U2, ambos omnidireccionales.  
242 Los datos acústicos fueron almacenados en memorias de 128g MicroSD v30 (velocidad de  
243 escritura) y memoria SDHC respectivamente. El formato de almacenamiento de las grabaciones en  
244 ambos dispositivos es tipo WAV. Y grabación en full spectrum. Con el dispositivo SM4BAT FS se  
245 realizó el primer muestreo en las dos carreteras, y para los siguientes muestreos se emplearon las

246 grabadoras Audiomoth v 1.2.0. Por cada punto de muestreo se empleó una grabadora y estas se  
247 instalaron a una distancia entre 4 y 5 metros del suelo. La tasa de muestreo asignada fue de 384  
248 kHz para el Audiomoth y de 500 kHz para el SM4 BAT FS con el activador en 15 kHz y una  
249 ganancia media para ambos. Las grabadoras fueron programadas para que se activaran a las 18:00  
250 horas hasta las 5:00 horas y se tomaron seis noches, en cada punto de muestreo.

251 El procesamiento de los sonidos se realizó a través del software BatExplorer (Elekon A.G). Se hicieron  
252 visualizaciones de los chillidos a través de espectrogramas con una Transformación Rápida de  
253 Fourier de 512 muestras con un solapamiento del 80% y una ventana tipo Hamming. En los  
254 eventos acústicos de interés (fase de búsqueda, fase de aproximación y terminal), se midieron los  
255 parámetros temporales: duración del pulso e intervalos entre pulsos. Al igual que los parámetros  
256 espectrales: frecuencia de máxima energía, frecuencia mínima y máxima. Para llegar hasta el  
257 nivel taxonómico más específico y asignar sonoespecies (especies) y grupos de especies a dichos  
258 eventos, se tuvieron en cuenta descripciones de especies encontradas en la literatura y audios  
259 depositados en las bases de datos en línea (xeno-canto y La sonothèque). Siguiendo a Diaz *et al.*  
260 (2023), aquellos sonidos donde no fue posible llegar a una mayor resolución taxonómica se  
261 agruparon como sonotipos, debido a los patrones similares. Posteriormente, se hizo una  
262 cuantificación de los eventos de interés siguiendo a Fenton (2004). Así, se asumió cada evento  
263 como una secuencia. De acuerdo con Fenton (2004), una secuencia es una serie de pulsos  
264 registrados de un individuo que pasa a través del espacio aéreo. Dado lo anterior, cada secuencia  
265 se individualizó bajo el criterio de cuatro veces la distancia promedio entre pulsos que conforman  
266 la secuencia. De esta manera, se asumió una secuencia como un individuo (Roche *et al.* 2011)

### 267 *Composición y estructura de los ensamblajes*

268 Se evaluó la representatividad del muestreo empleando las curvas de rarefacción y extrapolación en el  
269 programa INext (Chao *et al.* 2016), a partir de la abundancia de sonoespecies y sonotipos Además,  
270 se caracterizó la estructura y composición de los ensamblajes en ambas carreteras a partir de la

271 estimación del índice de dominancia ( $q_2$ ), la diversidad ( $q_1$ ) y la riqueza( $q_0$ ) (Jost 2012).  
272 Posteriormente, para evaluar la similitud de la composición entre los sitios se empleó un análisis de  
273 conglomerados jerárquico basado en la similitud de Bray-Curtis y el método de enlace promedio,  
274 los cuales fueron validados mediante una correlación cofenética (Cuadras 1989). Adicionalmente,  
275 se realizaron diagramas de Venn para visualizar las similitudes o disimilitudes del análisis de  
276 conglomerados. Todos los análisis se llevaron a cabo en el software R (RStudio Team 2015). Las  
277 librerías empleadas fueron: vegan, ggplot2, cluster, ggvenn, ggpattern, Car.

### 278 *Actividad acústica*

279 En primera instancia, se realizó un control de la calidad de las grabaciones, para este se siguió a Caycedo-  
280 Rosales et al. (2013), el cual consistió en tres etapas: a) Preprocesamiento: consiste en la filtración  
281 de las grabaciones para la eliminación de ruido y segmentación de la información acústica con  
282 eventos de interés. b) Representación: consiste en la visualización de la información a partir de  
283 espectrogramas en los parámetros frecuencia-tiempo y los oscilogramas en los parámetros amplitud  
284 y tiempo. C) Clasificación: consiste en la selección de los eventos acústicos de interés para el  
285 análisis. En este punto, dado el caso específico, dado el grupo de organismos, fueron seleccionadas  
286 las grabaciones en las que se observaron chillidos en comportamientos que se han descrito como:  
287 fase de búsqueda, fase de aproximación y fase terminal.

288 Posteriormente, para medir la actividad acústica en cada sitio y por cada distancia se implementó el Índice  
289 de Actividad Acústica (AI, por sus siglas en inglés) propuesto por Miller (2001) y modificado por  
290 Skalak *et al.* (2012), empleando bloques de tiempo de 5s, donde se suman los bloques de tiempo en  
291 los que estuvo presente la especie y se divide entre el total de bloques de tiempo. Para evaluar la  
292 variación en las medias del AI se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías con un  
293 valor de significancia de 95 %. Donde las réplicas en el tiempo fueron los bloques de 12 horas que  
294 corresponden a los días de grabación. Y se evaluaron los supuestos de normalidad y  
295 homocedasticidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente.

296 Debido a que no fueron normales pero cercanos al estadístico fueron transformados empleando la  
297 raíz cuadrada. Para este análisis la variable dependiente correspondió a la actividad acústica y como  
298 variables independientes las carreteras con dos niveles (Antigua y En Construcción) y/o distancias  
299 con dos niveles (0 metros y 2.000 metros). Al igual, que se aplicó un ANOVA de una vía por  
300 carretera donde la variable dependiente correspondió a la actividad acústica y las distancias con dos  
301 niveles (0 metros y 2.000 metros). Además, para la evaluación de las diferencias a nivel de familia,  
302 se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, la variable dependiente correspondió a la  
303 actividad acústica y como variables independientes las Distancias con dos niveles (0 metros y 2.000  
304 metros) y familia con tres niveles (Vespertilionidae, Emballonuridae y Molossidae).

305 Adicionalmente, para estimar actividad en cuanto a las secuencias, las fases de aproximación y  
306 terminal se denominaron como “Alimentación” fueron contabilizadas. De acuerdo con Griffin *et al.*  
307 (1960), estas secuencias están asociadas con la probabilidad de captura, por tanto, son útiles para  
308 evaluar la actividad de forrajeo. Para esta evaluación se empleó un análisis de varianza (ANOVA)  
309 de dos vías con un valor de significancia de 95 %. Donde las réplicas en el tiempo fueron los  
310 bloques de 12 horas que corresponden a los días de grabación. Y se evaluaron los supuestos de  
311 normalidad y homocedasticidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Levene  
312 respectivamente. En este análisis la variable dependiente fueron las secuencias en fase de Búsqueda  
313 o en fase Alimentación y como variable independiente los factores las Carreteras con dos niveles  
314 (Antigua y En Construcción) y Distancias con dos niveles (0 metros y 2.000 metros).

## 315 **Resultados**

### 316 *Muestreo acústico*

317 En los doce días de grabación, se identificaron 569 secuencias para la carretera En Construcción y 1472  
318 secuencias para la carretera Antigua. Obteniendo un total de 17 sonoespecies y 16 sonotipos, que se  
319 agrupan en tres familias: Molossidae, Emballonuridae y Vespertilionidae. La familia Molossidae fue la  
320 más representativa con un 45.45% de las especies/sonoespecies totales, seguido de la familia

321 Vespertilionidae. De las sonoespecies obtenidas, 15 se identificaron a nivel de especie, siete a nivel de  
322 género y dos se identificaron como cercana a una especie. Los demás registros fueron asignados como  
323 sonoespecies (Tabla 1).

### 324 *Composición y estructura de los ensamblajes*

325 La curva de rarefacción y extrapolación de ambas carreteras se acercó a la asíntota, mostrando una  
326 cobertura del muestreo del 98 al 99 % (Figura 2). La mayor riqueza de sonoespecies y sonotipos  
327 observadas fue para la carretera Antigua a 0 metros y 2.000 metros con 26 y 27 sonoespecies y  
328 sonotipos, respectivamente ( $F = 162, p = 0.00612$ ). En contraste, la menor riqueza la tuvo la  
329 carretera En Construcción con una riqueza observada de 17 y 15 sonoespecies, respectivamente  
330 (Tabla 1).

331 La especie que presentó mayor abundancia en la carretera Antigua a 0 metros fue *Saccopteryx leptura*,  
332 mientras que 2.000 metros fue *Molossus bondae*. En contraste, en la carretera En Construcción a 0  
333 metros la especie más abundante fue *Peropteryx macrotis*, mientras que a 2.000 metros fue  
334 *Rhogeessa io*. Para la carretera Antigua se obtiene que el valor de orden  $q_1$  es de 14.71 y 14.41  
335 para las distancias de 0 y 2.000 metros respectivamente, que en conjunto con  $q_0$  indican que hay  
336 diversidad de especies y estas se distribuyen de manera equitativa; sin embargo, un valor de  $q_2$  de  
337 11.04 y 10.49 indican que, al haber un mayor número de especies, unas cuantas dominan la  
338 comunidad, pero no se pierde la equitatividad.

339 En la carretera En Construcción, el valor de  $q_1$  es de 7.52 y 9.42 indicando una menor equitatividad en las  
340 abundancias y diversidad, al igual que los valores de  $q_2$  relativamente bajos de 5.72 y 6.38. Estos  
341 resultados, en combinación con la riqueza para la distancia de 0 metros indican que pocas especies  
342 dominan en la comunidad. Mientras que a 2.000 metros se presenta una distribución más  
343 equitativa. En general, la carretera Antigua presenta mayor riqueza de especies y equitatividad  
344 entre ellas, al igual que menor dominancia.

345 El análisis de conglomerados mostró que los sitios más similares son 0 y 2.000 metros de la carretera  
346 Antigua, con una similitud del 60 %. Por otra parte, la carretera En Construcción a 2.000 metros  
347 posee una similitud de casi 40 % con respecto a la carretera Antigua, mientras que a 0 metros En  
348 Construcción se presenta disimilitud (Figura 3).

349 El patrón de distribución obtenido del análisis de conglomerados puede relacionarse con los diagramas de  
350 Venn donde se obtuvo que, en la carretera Antigua se comparten 23 especies (76.7 %) entre  
351 distancias, donde el punto 0 metros tiene tres especies exclusivas, mientras que el punto a 2.000  
352 metros presenta cuatro especies exclusivas. Entre los 0 y 2.000 metros de la carretera En  
353 Construcción, se comparten 10 especies (40 %). El punto 0 metros tiene siete especies exclusivas,  
354 mientras que el punto a 2.000 metros tiene ocho especies exclusivas. En total, en ambas carreteras  
355 se comparte un 23% (8) de las especies, siendo la distancia 2.000 metros para la carretera Antigua  
356 la que presenta mayor número de especies exclusivas (3 spp)(ver Anexo, Figura 1).

### 357 *Actividad acústica*

358 Del análisis del AI para comparar la actividad total de las carreteras y la interacción con las distancias  
359 mediante un ANOVA de dos vías, se obtuvo que en la carretera Antigua es significativamente  
360 mayor el AI ( $F = 4.632, p = 0.0437$ ). En cuanto a la interacción de distancia y carretera, también hay  
361 significancia estadística ( $F = 10.39, p = 0.0042$ ), indicando que el efecto de la carretera sobre la  
362 actividad varía según la distancia (Figura 4).

363 Específicamente, en la carretera Antigua a los 2.000 metros hay mayor actividad en comparación con la  
364 carretera En Construcción ( $p = 0.005$ ). Sin embargo, el resultado del ANOVA de una vía, para la  
365 carretera Antigua no hay diferencias significativas de la actividad entre las distancias, mientras que  
366 para la carretera En Construcción si, siendo mayor a 0 metros ( $F = 9.77, p = 0.0108$ ).

367 El análisis de AI en la interacción a nivel de familias y las distancias se obtiene que no hay diferencias  
368 significativas para la carretera Antigua. En cambio, para la carretera En Construcción se encontró

369 significancia estadística por distancia ( $F=17.142, p=0.0002$ ), siendo mayor a 0 metros, presentando  
370 interacción significativa entre distancia y familia ( $F=12.133, p=0.0001$ ), lo que indica que el efecto  
371 de la distancia sobre la AI para la carretera En Construcción varía dependiendo de la familia; siendo  
372 a 0 metros la familia Emballonuridae la de mayor AI, seguido de la familia Molossidae (Tabla 2).

373 A nivel de especie, se tomaron las cinco especies con los valores promedio más altos de AI entre los  
374 días. Esto dio como resultado que la especie *Molossus bondae* tiene un valor alto en ambas  
375 distancias de la carretera Antigua, y a 0 metros de la carretera En Construcción (Tabla 3). En  
376 general, se observa que las especies más activas son diferentes entre las diferentes distancias de  
377 cada carretera, en este sentido, *Saccopteryx leptura* presentó mayor IA en la carretera Antigua a 0  
378 metros, mientras que a 2.000 metros fue *Molossus bondae*. En la carretera En Construcción,  
379 *Peropteryx macrotis* mostró mayor AI a 0 metros y a 2.000 metros fue la especie *Rhogeessa io*  
380 (Tabla 3).

381 Los análisis de las secuencias en fase de búsqueda evidenciaron una diferencia significativa entre las  
382 secuencias para la carretera Antigua y En Construcción, siendo significativamente mayor en la  
383 carretera Antigua ( $F=4.614, p=0.0441$ ) (Tabla 5). Sin embargo, no se observó significancia  
384 estadística en la interacción entre las distancias y las carreteras, lo que indica que el efecto de la  
385 carretera sobre la AI no varía con respecto a la distancia. Además, en cuanto a la actividad de  
386 forrajeo, se observó una diferencia significativa entre las secuencias en fase de alimentación para  
387 ambas carreteras, siendo mayor en la carretera Antigua ( $F=30.690, p<0.05$ ) (Tabla 5). A su vez,  
388 hay una interacción significativa entre la carretera y la distancia ( $F=19.030, p<0.005$ ). Lo  
389 anterior sugiere que para la carretera Antigua la interacción es mayor en fase de búsqueda a 2.000  
390 metros en comparación con 0 metros, mientras que para la carretera En Construcción es mayor a 0  
391 metros.

392

393

## Discusión

394 Este estudio es uno de los pocos en el Neotrópico que evalúa los efectos de la carretera sobre la ecología  
395 de los murciélagos junto con investigaciones realizadas en Brasil sobre el atropellamiento (Ceron *et al.*  
396 2017; Novaes *et al.* 2018; Ramalho *et al.* 2021). La mayoría de los estudios sobre el efecto de las  
397 carreteras en la actividad de los murciélagos, se han llevado a cabo en Estados Unidos y Europa  
398 (Berthinussen y Altringham 2012; Medinas *et al.* 2019; Estrada-Villegas *et al.* 2009). Por lo que en este  
399 estudio se buscaba evaluar si había diferencias en la actividad acústica, riqueza y composición de especies  
400 asociado a dos distancias de la línea vial en dos tipos de carreteras: Antigua y En Construcción.

401 Los resultados indican que la carretera Antigua presentó significativamente mayor riqueza, diversidad,  
402 equitatividad y mayor índice de actividad acústica en comparación con la carretera En  
403 Construcción. A pesar de que en este estudio hubo intentos de muestrear en sitios con coberturas  
404 vegetales similares intra-carretera e inter-carretera, no fue posible disminuir por completo esta  
405 variación entre las carreteras. Lo anterior, debido a los efectos de transformación del paisaje  
406 generados por la construcción de la carretera y a la influencia de los predios privados adyacentes a  
407 la carretera En Construcción, donde la mayoría de su cobertura se compone de pastos. Por otro lado,  
408 las coberturas de la carretera Antigua se componen de pastos con parches arbolados, además de un  
409 parche de bosque sucesional, lo que puede introducir un efecto especie-específico debido al  
410 diferente uso del espacio aéreo que poseen las especies de murciélagos insectívoros, debido a sus  
411 características morfológicas y sus señales acústicas (Altringham y Kerth 2016; Kalko *et al.* 2008).

412 Conforme a la hipótesis planteada de obtener mayor actividad en la carretera Antigua, los resultados  
413 revelaron que la carretera Antigua presentó diferencias significativas en riqueza, diversidad y  
414 equitatividad. Esto concuerda con estudios previos que indican una mayor diversidad en áreas  
415 urbanizadas que cuentan con cobertura vegetal, en comparación con aquellas que carecen de  
416 cobertura (Gehrt y Chelsvig, 2004), como es el caso de ambas carreteras. La composición de  
417 especies mostró algunos patrones contrastantes entre carreteras; por ejemplo, solo un 23 % de las

418 especies totales es compartido entre ambas, lo que sugiere que la estructura de la comunidad varía  
419 entre ambas carreteras. Esto sugiere una menor diversidad beta en la carretera En Construcción lo  
420 cual puede estar relacionado con unas coberturas vegetales menos complejas, dado que la  
421 diversidad de murciélagos está asociada con la complejidad estructural del paisaje Starik *et al.*  
422 (2018), lo que explica porque se encuentra menor diversidad, menos especies compartidas y mayor  
423 dominancia en la carretera En Construcción (ver Anexo, Figura 2). Por otro lado, en la carretera  
424 Antigua se compartieron más del 50 % de especies entre ambas distancias; en cambio, la  
425 composición de especies en la carretera En Construcción no fue homogénea entre las distancias. A  
426 2.000 metros de la carretera En Construcción, la similitud con la carretera Antigua es inferior al 40  
427 %. Esto lo refuerzan trabajos como el de Shochat *et al.* 2006, quienes afirman que en las zonas más  
428 urbanizadas se presentan ensambles más alterados puesto que unas pocas especies son más  
429 abundantes; como es el caso de la carretera En Construcción a 0 metros, donde las especies más  
430 abundantes son aquellas tolerantes a ambientes urbanos o zonas abiertas de pastos y cultivos y son  
431 las que dominan la estructura. Jung y Kalko (2011) también mencionan que la riqueza disminuye al  
432 comparar bosques con zonas de transición entre bosques y áreas urbanizadas. En general la  
433 diversidad asociada a la carretera Antigua puede estar modulada por otros factores asociados a la  
434 carretera, como las coberturas. De acuerdo con Berthinussen y Altringham (2012), la diversidad  
435 aumenta con la continuidad de la cobertura vegetal, lo que respalda los resultados de la alta  
436 diversidad en la carretera Antigua.

437 El índice de actividad acústica proporciona una información más precisa a la hora de evaluar la  
438 contribución relativa de cada especie a la actividad de un sitio (Miller 2001) y nos habla sobre el  
439 uso del espacio acústico. Jung y Kalko (2011) indican que hay una disminución de la actividad  
440 conforme se aumenta en la urbanización o en zonas urbanizadas. De manera similar, este estudio  
441 observo diferencias entre el índice de actividad y las carreteras, siendo mayor para la carretera  
442 Antigua, indicando mayor uso del espacio aéreo en esta carretera. Esto coincide con estudios donde

443 se ha encontrado que conforme aumenta la continuidad de la cobertura vegetal se presenta una  
444 mayor actividad acústica (Berthinussen y Altringham 2012; Dixon 2012), siendo el caso de la  
445 carretera Antigua, así mismo se ha evidenciado que las áreas boscosas ofrecen mayor disponibilidad  
446 de alimento y refugio (Medinas *et al.* 2019), ya que la abundancia de insectos en los bosques  
447 influencia de forma positiva la ocurrencia de murciélagos insectívoros Kusch *et al.* (2004), por lo  
448 tanto, habrá una mayor actividad y mayor uso de esos espacios. Esto también es consistente con  
449 nuestros hallazgos donde se presentaron diferencias en significativas en la cantidad de fases de  
450 búsqueda y alimentación entre las carreteras, siendo mayor cantidad de secuencias en fase de  
451 alimentación a 2.000 metros en la carretera Antigua y menor para la carretera En Construcción,  
452 puesto que como menciona Medinas *et al.* (2019), las áreas abiertas hay menor disponibilidad de  
453 refugio y alimento, por ende, no se encontrará mayor cantidad de secuencias en fase de  
454 alimentación, como fue el caso para la carretera En Construcción.

455 Sin embargo, el efecto de la carretera sobre la actividad varía según la distancia, en específico para la  
456 carretera En Construcción. Donde el efecto en la actividad acústica es dependiente de la distancia,  
457 siendo mayor más cerca de la carretera, similar a los hallazgos de Ramalho *et al.* (2021) en Brasil,  
458 esto debido a que algunas especies suelen aprovechar el alumbrado público para forrajear. Sin  
459 embargo, Berthinussen y Altringham (2012), Schaub *et al.* (2008) y Siemers y Schaub (2011)  
460 reportan mayor actividad a medida que se aleja de la carretera, evitando las zonas cercanas a la  
461 carretera por parte de algunas especies de la familia Vespertilionidae, lo cual es similar a lo  
462 encontrado en este estudio, donde *Rhoggessa io* fue la especie con mayor índice de actividad a  
463 2.000 metros En Construcción.

464 Los hallazgos del presente estudio confirman que los efectos en la actividad acústica no van a depender  
465 únicamente por la distancia, sugiriendo que otras variables dentro de las carreteras pueden estar  
466 explicando las diferencias en la actividad, como mencionan Medinas *et al.* (2019) y Claireau *et al.*  
467 (2019) como lo son las coberturas y las características de las carreteras. Aunque no se cuantificaron

468 variable de características de las carreteras dentro de este estudio, es importante resaltar las  
469 características difieren entre la carretera Antigua y En Construcción, donde para la segunda se  
470 presenta mayor área despejada en comparación con la carretera Antigua y como mencionan.  
471 Berthinussen y Altringham (2012) cuanto mayor es el ancho de la carretera, mayor es el efecto de  
472 barrera que genera. Además de que los efectos producidos por las carreteras se pueden expandir con  
473 mayor facilidad en áreas abiertas (Seiler 2001) puesto que la vegetación circundante puede disipar  
474 los efectos de la luz y el ruido (Altringham y Kerth 2016). Como es el caso de la carretera Antigua,  
475 lo cual puede responder a la alta riqueza y la diferencia en la actividad acústica a diferencia de la  
476 carretera En Construcción.

477 Schnitzler *et al.* (2001) sugieren que en las zonas de bosque y heterogéneas se pueden encontrar especies  
478 que suelen forrajear tanto en borde, como al interior del bosque y de espacios abiertos. En este  
479 estudio, la interacción de la actividad acústica a nivel de familias y las distancias muestreadas no  
480 mostró diferencias significativas para la carretera Antigua. En cambio, para la carretera En  
481 Construcción se encontró una diferencia significativa, indicando que el efecto de la distancia sobre  
482 la AI para la carretera En Construcción varía dependiendo de la familia. Donde la familia más  
483 frecuente a 0 metros en construcción fue Emballonuridae con especies como *Peropteryx macrotis*,  
484 *Balantiopteryx plicata*. Además de que son forrajeadoras de espacios abiertos y voladores rápidos  
485 los cuales se han asociado zonas de cultivos y de pastizales y no se ven afectados por el cambio en  
486 el uso del suelo (Quintanilla 2018). Estos hallazgos son similares a los resultados de Ramaloh y  
487 Aguiar (2020) y Bonsen *et al.* (2015) donde la actividad fue mayor a 10 m de la carretera. Sin  
488 embargo, a 2.000 metros el ensamblaje y la actividad cambia, teniendo mayor actividad de especies  
489 de vuelo lento, como los de la familia Vespertilionidae, que suelen forrajear en zonas de bordes de  
490 bosque ya que como mencionan Ramalho y Aguiar (2020), estas especies tienden a evitar las zonas  
491 cercanas a la carretera que también tiene una alta tolerancia a la perturbación.

492 En la carretera Antigua a 0 metros *Saccopteryx leptura* posee mayor índice de actividad, seguido de  
493 *Neoeptesicus cf. brasiliensis*. La especie *Saccopteryx leptura* es un volador rápido que se encuentra  
494 en los bosques y suelen forrajear en estas zonas de bordes de bosque. Aunque se catalogan como  
495 tolerantes a ambientes urbanizados (Jung y Kalko 2011), su persistencia en áreas urbanas o  
496 ciudades es menos probable. Por otro lado, *Neoeptesicus cf. brasiliensis* es un volador lento que  
497 también forrajea en espacios de borde, y se considera tolerante a la perturbación (Barquez *et al.*  
498 2016; Galindo-González 2007)

499 A 2.000 metros de la carretera Antigua, la especie con mayor índice de actividad fue *Molossus bondae*,  
500 seguida de *Rhogeessa io*. *Molossus bondae* es una especie de vuelo rápido y forrajeadora de  
501 espacios abiertos, que suele mostrar mayor actividad en áreas perturbadas (Jung y Kalko 2016). En  
502 contraste, *Rhogeessa io* es un volador lento que forrajea en bordes de bosque.

503 La diversidad de tipos de forrajeadores en la carretera Antigua sugiere que, como menciona Mendes *et al.*  
504 (2017), las coberturas vegetales heterogéneas pueden proporcionar una variedad de hábitats para  
505 distintos forrajeadores. Además, Schnitzler *et al.* (2001) señalan que en zonas boscosas se pueden  
506 encontrar especies con diferentes estrategias de forrajeo, tanto de borde como de interior y espacios  
507 abiertos. Lo que sugiere que esta diversidad en los tipos de forrajeadores para la carretera Antigua  
508 puede estar relacionado por hecho de que las coberturas vegetales que actúa como filtro  
509 disminuyendo los efectos carretera y le permite permanecer en estas zonas, esto contrasta con la  
510 idea de que las especies con diferente ecología de forrajeo responden de manera distinta a la  
511 alteración del hábitat (Kerth y Melber 2009).

512 El presente estudio encuentra que las carreteras pueden tener un efecto en los ensamblajes de murciélagos  
513 y su actividad sobre todo relacionado a la heterogeneidad del paisaje circundante a las carreteras.  
514 Sin embargo, se reconoce que este estudio presenta limitaciones al no considerar otras fuentes de  
515 perturbación como la urbanización adyacente o la agricultura, el ruido, la luz, y otras variables que  
516 podrían haber influido en la actividad de los murciélagos. Por lo anterior, es sugerente considerar el

517 ruido ambiental en el diseño de estudios acústicos. En este estudio no se incluyó el ruido como  
518 factor de análisis

519 Adicionalmente, la ventana de tiempo del presente estudio limita su interpretación ya que se reconocen  
520 las variaciones temporales en la actividad de los murciélagos, lo que limita la generalización de los  
521 resultados a lo largo del año. A pesar de estas limitaciones, los hallazgos de este estudio  
522 proporcionan una base valiosa para futuras investigaciones sobre la ecología de los murciélagos en  
523 relación con la infraestructura vial. Además de resaltar la importancia de integrar consideraciones  
524 ecológicas en la planificación de infraestructuras viales y en la gestión de hábitats, con el fin de  
525 mitigar los efectos negativos sobre la biodiversidad.

526 Debido al uso de dos tipos de detectores acústicos es menester mencionar que los equipos de diferentes  
527 fabricantes pueden presentar discrepancias en la detección de señales de alta frecuencia, lo que  
528 afecta la identificación de especies que emiten en estos rangos (Corcoran & Weller, 2018). Por  
529 ejemplo, detectores con un rango dinámico más limitado pueden subestimar la presencia de  
530 murciélagos pequeños que emiten llamadas de alta frecuencia. Esto puede conducir a una  
531 sobreestimación o subestimación de la diversidad específica en un área dada (Adams et al., 2020).  
532 Sin embargo, la calibración cruzada entre equipos se presenta como una solución potencial, aunque  
533 sigue siendo un desafío debido a los costos asociados y a la disponibilidad limitada de software de  
534 calibración. Debido a esto, en este estudio no se realizaron calibraciones de los equipos. Por tanto,  
535 reconocemos que en próximos estudios es necesario superar este tipo de dificultades para la  
536 detección efectiva de murciélagos.

537

538

539

540

541

## Referencias

- 542 **ADAMS, A. M., ET AL.** 2020. Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic  
543 monitoring of bats. *Ecology and Evolution*, 10(6), 2721–2732. <https://doi.org/10.1002/ece3.6123>
- 544 **ALTRINGHAM, J., Y G. KERTH.** 2016. Bats and Roads. In *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats*  
545 *in a Changing World* (pp. 35–62). Springer International Publishing.
- 546 **ARDILA, N. J. M., Y U.G.M GARCÍA** (Eds.). 2010. *Leyenda nacional de coberturas de la tierra:*  
547 *metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia: escala 1: 100.00.* Instituto de  
548 Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- 549 **BARQUEZ, R., et al.** 2016. *Eptesicus brasiliensis*. En: *The IUCN Red List of Threatened Species 2016:*  
550 *e.T7916A22114459.* [https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-](https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T7916A22114459.en)  
551 [1.RLTS.T7916A22114459.en](https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T7916A22114459.en). Accessed on 18 October 2024.
- 552 **BERTHINUSSEN, A., Y J. ALTRINGHAM .** 2012. The effect of a major road on bat activity and  
553 diversity. *Journal of Applied Ecology*, 49(1), 82-89.
- 554 **BONSEN, G., B. LAW, Y D. RAMP.** 2015. Foraging strategies determine the effect of traffic noise on  
555 bats. *Acta Chiropterologica*, 17(2), 347-357.
- 556 **BUNKLEY, J. P., et al.** 2015. Anthropogenic noise alters bat activity levels and echolocation calls. *Global*  
557 *Ecology and Conservation*, 3, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.11.002>
- 558 **CAYCEDO-ROSALES, P. C., J F. RUIZ-MUÑOZ, Y M. OROZCO-ALZATE.** 2013. Reconocimiento  
559 automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18),  
560 171-195.
- 561 **CERON, K., D.A.S., et al.** 2017. Roadkilled bats (Mammalia: Chiroptera) in two highways of Santa  
562 Catarina state, Southern Brazil. *Oecologia Australis*, 21(2).

563 **CLAIREAU, F.**, et al. 2019. Major roads have important negative effects on insectivorous bat  
564 activity. *Biological Conservation*, 235, 53-62.

565

566 **CHAO, A., K.H. MA, Y T.C. HSIEH.** 2016. iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software  
567 for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at  
568 [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/inext-online/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/).

569 **COFFIN, A. W.**2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of*  
570 *transport Geography*, 15(5), 396-406.

571 **Corcoran, A. J., y T.J. Weller.** 2018. Inconspicuous echolocation in hoary bats (*Lasiurus cinereus*).  
572 *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1878), 20180441.

573 **CUADRAS, C. M.** 1989. Distance analysis in discrimination and classification using both continuous and  
574 categorical variables. In *Statistical data analysis and inference* (pp. 459-473). North-Holland.

575 **DELAVAL, M., Y P. CHARLES-DOMINIQUE.** 2006. Edge effects on frugivorous and nectarivorous bat  
576 communities in a neotropical primary forest in French Guiana. *Revue d'écologie*, 61(4), 343-352.

577 **DÍAZ-B, C. A.**, et al. 2023. Bat functional traits associated with environmental, landscape, and  
578 conservation variables in Neotropical dry forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6,  
579 1082427.

580 **DIXON, M. D.** 2012. Relationship between land cover and insectivorous bat activity in an urban  
581 landscape. *Urban Ecosystems*, 15, 683-695.

582 **ESTRADA-VILLEGAS, S., C.F. MEYER, Y E.K. KALKO.** 2010. Effects of tropical forest fragmentation on  
583 aerial insectivorous bats in a land-bridge island system. *Biological Conservation*, 143(3), 597-608.

584 **FENTON, B.** 2004. Reporting: Essential information and analysis. In M. R. Brigham, E. Kalko, E. K.,  
585 Estrada Villegas, S., Schmidt, M., Wegmann, M., & Meyer, C. F. (2008). Flying high—assessing  
586 the use of the aerosphere by bats. *Integrative and Comparative Biology*, 48(1), 60-73.

587 **FENTON, M. B., Y G.P. BELL.** 1981. Recognition of Species of Insectivorous Bats by Their Echolocation  
588 Calls. *Journal of Mammalogy*, 62(2), 233–243. <https://doi.org/10.2307/1380701>

589 **FORMAN, R. T. T., Y L.E. ALEXANDER.** 1998. Roads and their major ecological effects. In *Annu. Rev.*  
590 *Ecol. Syst* (Vol. 29). [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)

591 **FORMAN, R. T. T., et al.** 1997. Ecological effects of roads: Toward three summary indices and an  
592 overview for North America. 40–54.

593 **FORMAN, R. T., et al.** 2002. *ROADS, VEHICLES, AND ECOLOGY: Foundations of Road Ecology*. In  
594 *Road Ecology Science and Solutions*.

595 **FOXLEY, T., P. LINTOTT, Y E. STONE.** 2023. What drives bat activity at field boundaries?. *Journal of*  
596 *environmental management*, 329, 117029.

597 **GALINDO-GONZÁLEZ, J.** 2007. Efectos de la fragmentación del paisaje sobre poblaciones de mamíferos;  
598 el caso de los murciélagos de los Tuxtlas. *Tópicos en sistemática, biogeografía, ecología y*  
599 *conservación de mamíferos*, 97.

600 **GEHRT S.D., Y J.F. CHELSVIG.** 2004. Species-specific patterns of bat activity in an urban landscape.  
601 *Ecological Applications*. 14:625–635. doi:10.1890/03-5013

602 **GRIFFIN, D. R., F.A. WEBSTER, Y C.R. MICHAEL.** 1960. The echolocation of flying insects by  
603 bats. *Animal behaviour*, 8(3-4), 141-154.

604 **GOOSEM, M.** 2004. Linear infrastructure in the tropical rainforests of far north Queensland: mitigating  
605 impacts on fauna of roads and powerline clearings. In D. Lunney (Ed.), *Conservation of Australia's*  
606 *Forest Fauna* (2nd ed.).

607 **GOOSEM, M.** 2007. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. *Asian Biodiversity*  
608 *Crises*, 93(11), 1587–1595

609 **HERNÁNDEZ LEAL, O. F., F. SÁNCHEZ, Y D.J. LIZCANO.** 2021. Murciélagos insectívoros aéreos en un  
610 paisaje ganadero del piedemonte llanero colombiano. *Biota colombiana*, 22(1), 164-183.

611 **IAvH, & CORANTIOQUIA.** 2014. fortalecimiento al conocimiento, conservación y uso sostenible de la  
612 biodiversidad y los servicios ecosistémicos del bosque seco tropical en la jurisdicción de corantioquia.

613 **JONES, G., et al.** 2009. Carpe noctem: The importance of bats as bioindicators. In *Endangered Species*  
614 *Research* (Vol. 8, Issues 1–2, pp. 93–115). <https://doi.org/10.3354/esr00182>

615 **JOST, L., Y J. GONZÁLEZ-OREJA.** 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de  
616 Shannon. *Acta zoológica lilloana*, 3-14.

617 **JUNG, K., Y E.K. KALKO.** 2010. Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial  
618 insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy*, 91(1), 144-  
619 153.

620 **JUNG, K., Y E.K. KALKO.** 2011. Adaptability and vulnerability of high flying Neotropical aerial  
621 insectivorous bats to urbanization. *Diversity and distributions*, 17(2), 262-274.

622 **JUNG, K., Y C.G. THRELFALL.** 2016. Urbanisation and its effects on bats—a global meta-analysis. *Bats in*  
623 *the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*, 13-33.

624 **KERTH, G., Y M. MELBER.** 2009. Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two  
625 threatened forest-living bat species. *Biological Conservation*, 142(2), 270-279.

626 **KUSCH, J., C. WEBER, S. IDELBERGER, Y T. KOOB.** 2004. Foraging habitat preferences of bats in relation  
627 to food supply and spatial vegetation structures in a western European low mountain range  
628 forest. *FOLIA ZOOLOGICA-PRAHA-*, 53(2), 113-128.

629 **LUO, J., B.M. SIEMERS, Y K. KOSELJ.** 2015. How anthropogenic noise affects foraging. *Global Change*  
630 *Biology*, 21(9), 3278–3289. <https://doi.org/10.1111/gcb.12997>

631 **MACSWINEY G, M. C., F.M. CLARKE, Y P.A. RACEY.** 2008. What you see is not what you get: The role  
632 of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal*  
633 *of Applied Ecology*, 45(5), 1364–1371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01531.x>

634 **MEDINAS, D., et al.** 2019. Road effects on bat activity depend on surrounding habitat type. *Science of the*  
635 *Total Environment*, 660, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.032>

636 **MENDES, E. S., et al.** 2017. Bat richness and activity in heterogeneous landscapes: guild-specific and  
637 scale-dependent?. *Landscape ecology*, 32, 295-311.

638 **MILLER, B. W.** 2001. A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity  
639 index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterologica*, 3(1), 93–105.

640 **Ministerio de transporte.** 2022. Transporte en cifras 2021: Anuario Nacional de Transporte.  
641

642 **MINISTERIO DE TRANSPORTE.** 1994. Proyecto de integración de la red nacional de transporte.

643 **MYCZKO, Ł., et al.** 2017. Effects of local roads and car traffic on the occurrence pattern and foraging  
644 behaviour of bats. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 222-228.

645 **NOVAES, R. L. M., et al.** 2018. On a collision course: the vulnerability of bats to roadkills in  
646 Brazil. *Mastozoología neotropical*, 25(1), 115-128.

647 **Portillo-Quintero, C. A., Y G.A. Sánchez-Azofeifa.** 2010. Extent and conservation of tropical dry  
648 forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144–155.  
649 <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>

650 **PINILLA, C., Y A. RODRÍGUEZ-BOLAÑOS.** 2017. Caracterización bioacústica de murciélagos  
651 Filostómidos en un bosque húmedo montano bajo colombiano. *Revista Biodiversidad*  
652 *Neotropical*, 7(2), 119-133.

653 **PIZANO, C., AND GARCÍA, H.** 2014. El Bosque Seco Tropical en Colombia (C. Pizano & H. García, Eds.;  
654 Primera). Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

655 **QUINTANILLA, D. J. M., et al.** 2018. Situación del uso de la tierra en la distribución de cinco especies de  
656 murciélagos de la Familia Emballonuridae en Honduras, Centroamérica. *Revista Mexicana de*  
657 *Mastozoología (Nueva Época)*, 8(2), 13-21.

658 **RAMALHO, D. F., M. SILVEIRA, Y L.M. AGUIAR.** 2021. Hit the road bat! High bat activity on the road  
659 verges in Brazilian savanna. *Journal of Mammalogy*, 102(3), 695-704.

660 **RAMALHO, D. F., Y L. AGUIAR.** 2020. Bats on the Road—A Review of the Impacts of Roads and  
661 Highways on Bats. *Acta Chiropterologica*, 22(2), 417-433.

662 **RAMÍREZ-CHAVES, H. E. et al.** (2023). Revising the diversity within the Dwarf Dog-faced Bat, *Molossops*  
663 *temminckii* (Chiroptera, Molossidae), with the revalidation of the endangered  
664 *Molossopsgriseiventer*. *ZooKeys*, 1180, 237.

665 **RSTUDIO TEAM.**2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA  
666 URL <http://www.rstudio.com/>

667 **Ree, R. van der, D.J. Smith, y C. Grilo.** 2015. The Ecological Effects of Linear Infrastructure and  
668 Traffic. In *Handbook of Road Ecology* (pp. 1–9).  
669 [https://www.academia.edu/19895479/The\\_ecological\\_effecTs\\_of\\_linear\\_infrasTrucTure\\_and\\_Traff](https://www.academia.edu/19895479/The_ecological_effects_of_linear_infrastructure_and_traffic_challenges_and_opportunities_of_rapid_global_growth)  
670 [ic\\_challenges\\_and\\_opporTuniTies\\_of\\_rapid\\_global\\_grow](https://www.academia.edu/19895479/The_ecological_effects_of_linear_infrastructure_and_traffic_challenges_and_opportunities_of_rapid_global_growth)

671 **ROCHE, N., et al.** 2011. A car-based monitoring method reveals new information on bat populations and  
672 distributions in Ireland. *Animal Conservation*, 14(6), 642-651.

673 **Rojas López, M. D., Y A.F. Ramírez Muriel.** 2018. Inversión en infraestructura vial y su impacto en el  
674 crecimiento económico: Aproximación de análisis al caso infraestructura en Colombia (1993-2014).  
675 Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 17(32), 109–128.  
676 <https://doi.org/10.22395/rium.v17n32a6>  
677

678 **SCHNITZLER, H. U., Y E.K. KALKO.** 2001. Echolocation by insect-eating bats: we define four distinct  
679 functional groups of bats and find differences in signal structure that correlate with the typical  
680 echolocation tasks faced by each group. Bioscience, 51(7), 557-569.

681 **SHOCHAT, E., et al.** 2006. From Patterns To Emerging Processes In Mechanistic Urban Ecology. Trends  
682 In Ecology & Evolution, 21(4), 186–191. Doi:10.1016/J.Tree.2005.11.019

683 **SIEMERS, B. M., Y A. SCHAUB.** 2011. Hunting at the highway: Traffic noise reduces foraging efficiency  
684 in acoustic predators. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278(1712), 1646–  
685 1652. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2262>

686 **SKALAK, S. L., R.E. SHERWIN, Y R.M. BRIGHAM.** 2012. Sampling period, size and duration influence  
687 measures of bat species richness from acoustic surveys. Methods in Ecology and Evolution, 3(3),  
688 490–502. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00177.x>

689 **STARIK, N., et al.** 2018. Bat community responses to structural habitat complexity resulting from  
690 management practices within different land use types—A case study from north-eastern  
691 Germany. Acta Chiropterologica, 20(2), 387-405.

692 **SEILER, A.** 2001. Ecological effects of roads: a review (p. 40). Uppsala: Swedish University of  
693 Agricultural Sciences.

694 **TROMBULAK, S. C., Y C.A. FRISSELL.** 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and  
695 aquatic communities. Conservation biology, 14(1), 18-30.

- 696 **VELÁSQUEZ, J. O., et al.** 2006. Plan de manejo Ecoturístico Municipio de La Pintada
- 697 **ZURC, D., A.GUILLÉN-SERVENT, Y S. SOLARI.** 2017. Chillidos de ecolocación de murciélagos
- 698 Emballonuridae en una sabana xerófila-semiseca del Caribe Colombiano. Mastozoología
- 699 neotropical, 24(1), 201-218.
- 700

701

702

### **Lista de Figuras**

703 **Figura 1.** Mapa del área de muestro que muestra los puntos acústicos seleccionados en cada carretera y

704 las coberturas presentes en el área circundante a los puntos de muestreo.

705 **Figura 2.** Curvas de Rarefacción y extrapolación para ambas carreteras en las distancias muestreadas.

706 CEC: Carretera En construcción. CA: Carretera Antigua.

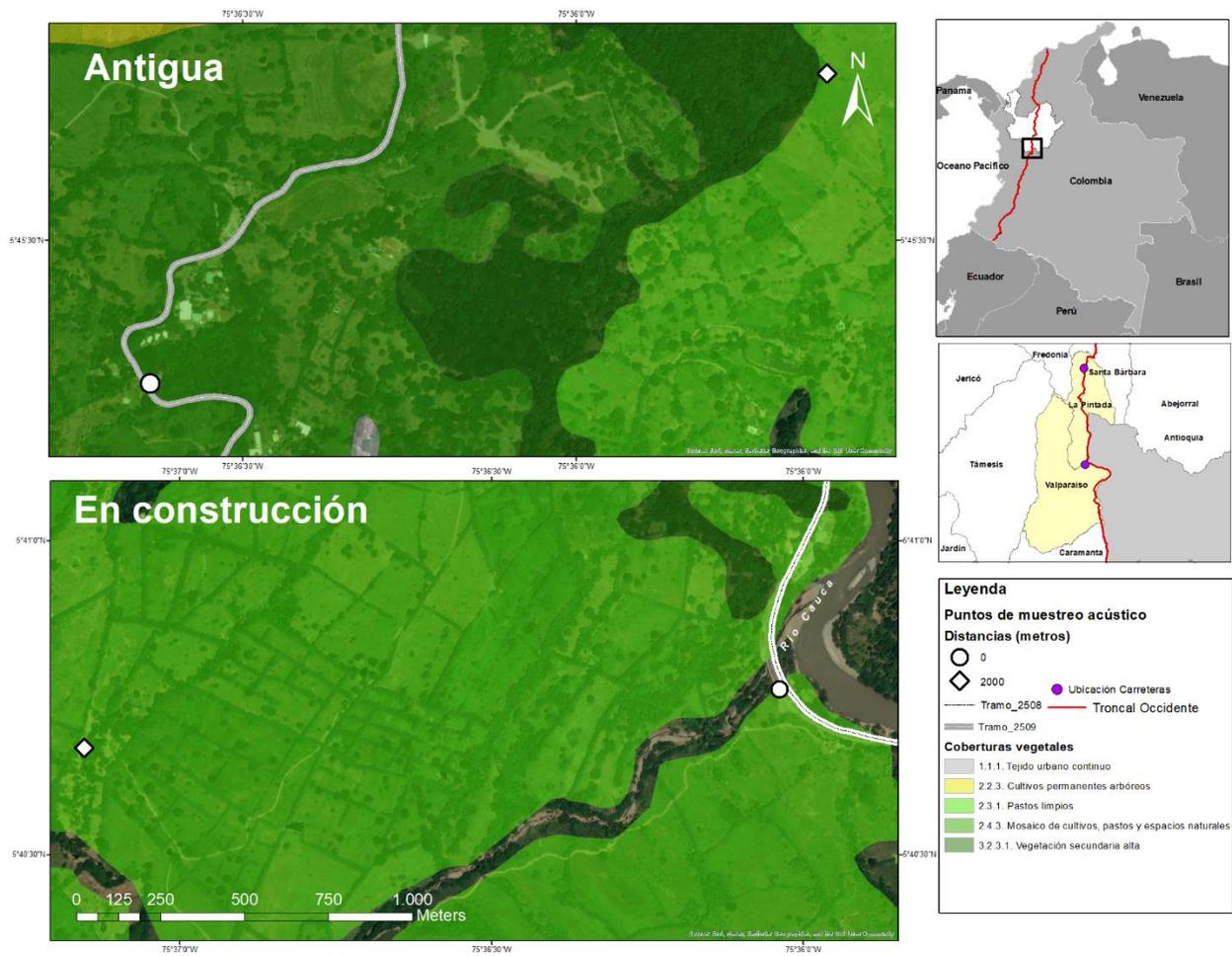
707 **Figura 3.** Análisis de conglomerados de los cuatro puntos de muestreo. CEC: Carretera En construcción.

708 CA: Carretera Antigua

709 **Figura 4.** Índice de actividad acústica (AI) para cada carretera y distancia dentro de las carreteras.

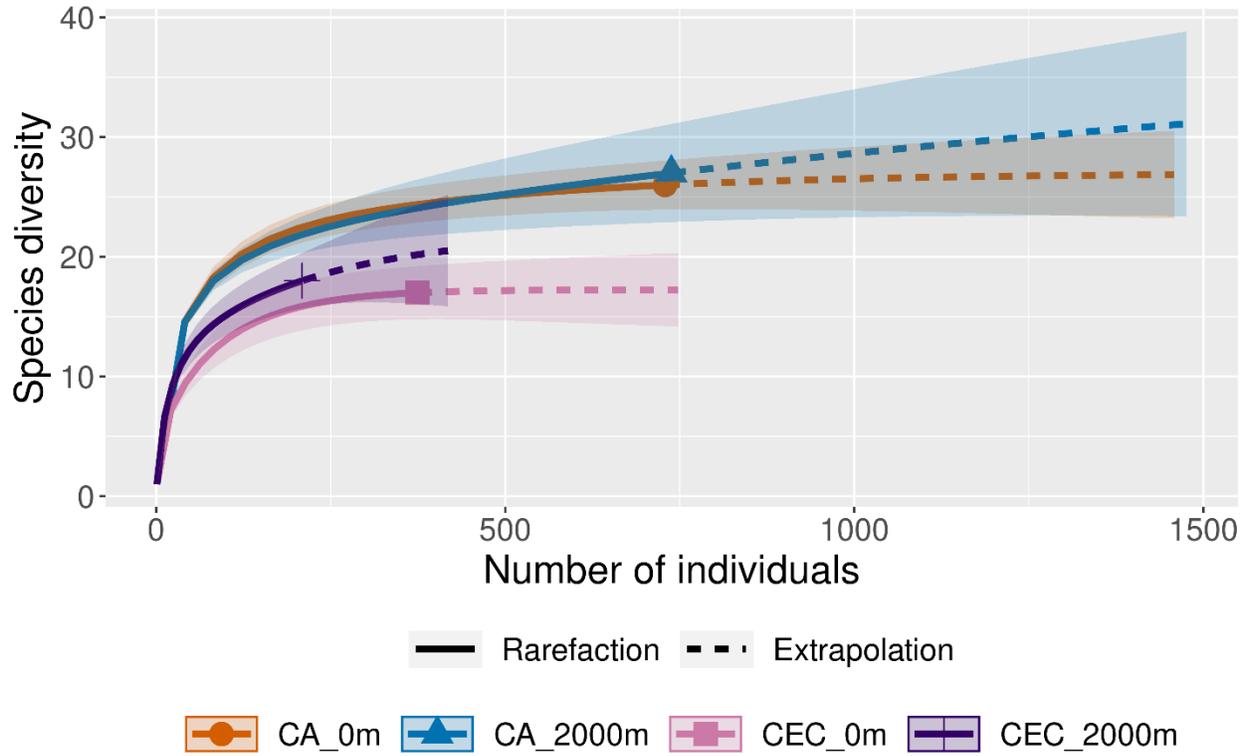
710 **Figura 5.** Cantidad de secuencias en fase de búsqueda (gris oscuro) y fase de alimentación (gris claro),

711 para cada carretera y distancia dentro de las carreteras



**Figura 2.** Curvas de Rarefacción y extrapolación para ambas carreteras en las distancias muestreadas.

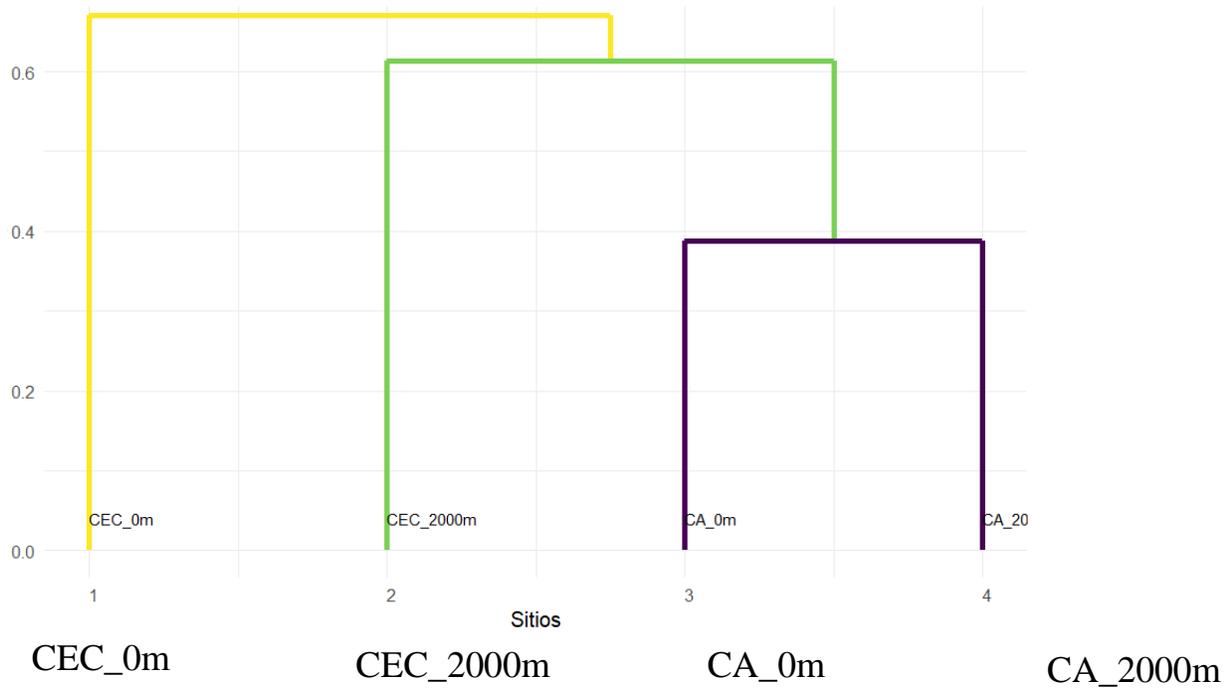
CEC: Carretera En construcción. CA: Carretera Antigua.



**Figura 2.** Curvas de Rarefacción y extrapolación para ambas carreteras en las distancias muestreadas.

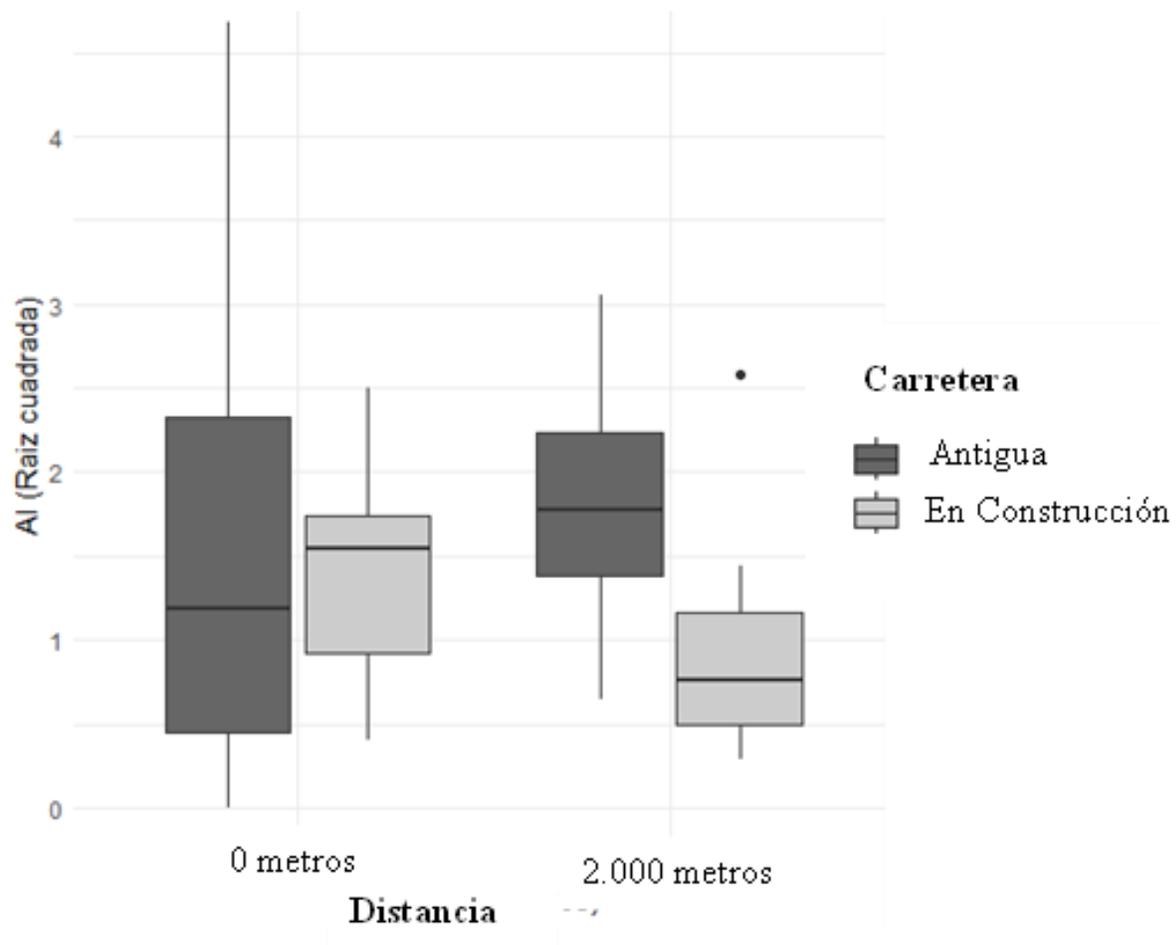
CEC: Carretera En construcción. CA: Carretera Antigua.

### Dendrograma usando disimilitud de Bray-Curtis y método Average

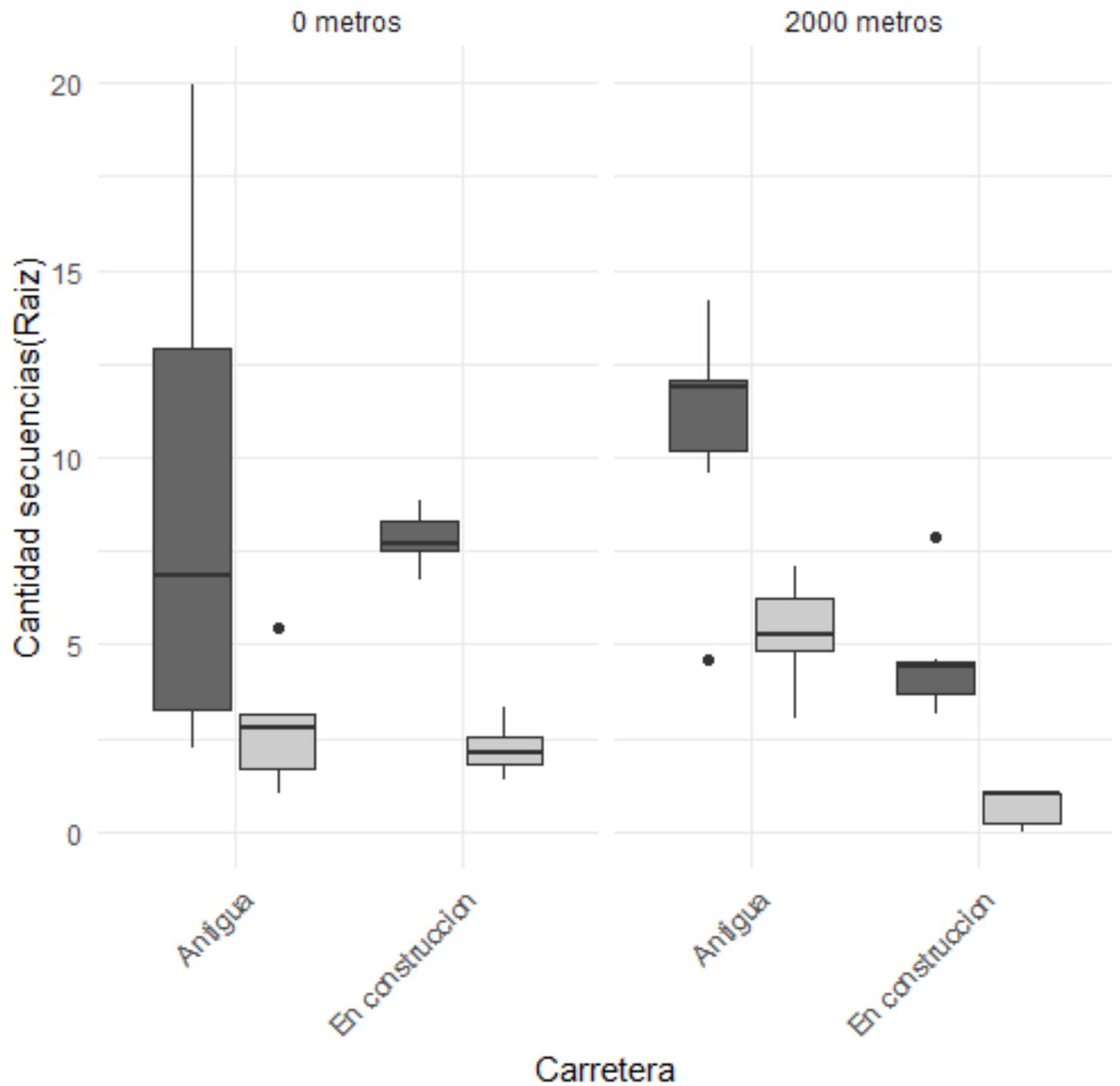


**Figura 3.** Análisis de conglomerados de los cuatro puntos de muestreo. CEC: Carretera En construcción.

CA: Carretera Antigua



**Figura 4.** Índice de actividad acústica (AI) para cada carretera y distancia dentro de las carreteras



**Figura 5.** Cantidad de secuencias en fase de búsqueda (gris oscuro) y fase de alimentación (gris claro), para cada carretera y distancia dentro de las carreteras

### **Lista tablas**

**Tabla 1.** Especies registradas y número de secuencias de ecolocalización halladas durante los meses de Julio a Noviembre de 2022 en dos carreteras a dos distancias en cada carretera

**Tabla 2.** Índice de actividad acústica a nivel familia de murciélagos en la carretera Antigua y En construcción y registrada en dos distancias desde las carreteras. En negrilla se observan los valores más altos para cada carretera

**Tabla 3.** Índice de actividad acústica por especies para la carretera Antigua y en Construcción y a diferentes distancias desde la carretera. En negrilla se observan los valores más altos del número de actividad

*Números total de secuencias*

<i>Familia</i>	<b>Carretera</b>	<b>Antigua</b>		<b>En construcción</b>		
		<b>Distancia</b>	0	2.000	0	2.000
			metros	metros	metros	metros
<i>Emballonuridae</i>	<i>Balantiopteryx plicata</i>		6	3	89	0
<i>Molossidae</i>	<i>Cynomops greenhalli</i>		7	4	0	1
<i>Molossidae</i>	<i>Cynomops planirostris</i>		1	8	0	0
<i>Emballonuridae</i>	<i>Emballonuridae sp1</i>		20	1	0	0
<i>Emballonuridae</i>	<i>Emballonuridae sp2</i>		0	0	5	0
<i>Emballonuridae</i>	<i>Emballonuridae sp3</i>		97	65	8	8
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Neoptesicus cf.brasiliensis</i>		106	39	24	29
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Eptesicus sp1</i>		8	15	0	0
<i>Molossidae</i>	<i>Eumops sp1</i>		49	45	2	8
<i>Molossidae</i>	<i>Eumops sp2</i>		21	30	4	1
<i>Molossidae</i>	<i>Eumops sp3</i>		0	1	0	0
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Lasiurus ega</i>		12	3	2	0
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Lasiurus sp2</i>		2	26	0	0
<i>Molossidae</i>	<i>Molossidae sp1</i>		6	1	11	0
<i>Molossidae</i>	<i>Molossidae sp2</i>		19	61	1	0
<i>Molossidae</i>	<i>Molossidae sp3</i>		40	8	0	0
<i>Molossidae</i>	<i>Molossidae sp4</i>		0	0	13	0
<i>Molossidae</i>	<i>Molossus bondae</i>		77	206	79	7
<i>Molossidae</i>	<i>Molossus molossus</i>		35	126	116	3
<i>Molossidae</i>	<i>Molossus rufus</i>		3	13	0	1
<i>Molossidae</i>	<i>Molossus sp1</i>		0	40	1	0
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Myotis cf.nigricans</i>		6	1	0	0
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Myotis keasy</i>		0	9	0	4
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Myotis sp1</i>		12	18	0	22
<i>Molossidae</i>	<i>Nyctinomoops macrotis</i>		0	0	1	1
<i>Emballonuridae</i>	<i>Peropteryx kappleri</i>		2	0	3	0
<i>Emballonuridae</i>	<i>Peropteryx macrotis</i>		45	53	155	11
<i>Molossidae</i>	<i>Promops centralis</i>		9	32	4	2
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Rhogeessa io</i>		59	139	6	72
<i>Emballonuridae</i>	<i>Saccopteryx bilineata</i>		1	0	0	0
<i>Emballonuridae</i>	<i>Saccopteryx leptura</i>		125	62	1	19
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Vespertilionidae sp1</i>		0	1	4	23
<i>Vespertilionidae</i>	<i>Vespertilionidae sp2</i>		5	42	0	0
	Riqueza		26	28	20	16

**Tabla 1.** Especies registradas y número de secuencias de ecolocalización halladas durante los meses de Julio a Noviembre de 2022 en dos carreteras a dos distancias en cada carretera.

<b>Carretera</b>	<b>Antigua</b>		<b>En construcción</b>	
	0 metros	2.000 metros	0 metros	2.000 metros
<i>Familias</i>				
<i>Emballonuridae</i>	3,6805	2,1111	<b>3,7222</b>	0,7361
<i>Molossidae</i>	<b>5,4444</b>	<b>6,4583</b>	2,7638	0,375
<i>Vespertilionidae</i>	2,8333	2,76389	0,58333	<b>1,8611</b>

**Tabla 2.** Índice de actividad acústica a nivel familia de murciélagos en la carretera Antigua y En construcción y registrada en dos distancias desde las carreteras. En negrilla se observan los valores más altos para cada carretera.

	Carretera	Antigua		En construcción	
		0 metros	2.000 metros	0 metros	2.000 metros
	Especies				
<b>Emballonuridae</b>	<i>Saccopteryx leptura</i>	<b>11,25</b>	3,58	0,00	2,08
<b>Emballonuridae</b>	Emballonuridae sp3	3,33	5,33	0,50	1,92
<b>Emballonuridae</b>	<i>Balantiopteryx plicata</i>	0,58	0,25	<b>8,25</b>	0,00
<b>Emballonuridae</b>	<i>Peropteryx macrotis</i>	4,67	3,58	<b>13</b>	2,67
<b>Molossidae</b>	<i>Eumops sp1</i>	7,416	2,67	0,08	0,83
<b>Molossidae</b>	<i>Molossus bondae</i>	<b>7,50</b>	<b>14,75</b>	6,833	0,75
<b>Molossidae</b>	Molossidae sp2	2,50	4,92	1,00	0,00
<b>Molossidae</b>	<i>Molossus molossus</i>	3,92	6,833	6,17	0,33
<b>Vespertilionidae</b>	<i>Neoptesicus cf.brasiliensis</i>	6,00	2,58	2,08	<b>3,08</b>
<b>Vespertilionidae</b>	<i>Rhogeessa io</i>	5,67	<b>7,333</b>	0,10	<b>5,833</b>

**Tabla 3.** Índice de actividad acústica por especies para la carretera Antigua y en Construcción y a diferentes distancias desde la carretera. En negrilla se observan los valores más altos del número de actividad

## **Anexos**

**Figura 1.** Grafica rango-abundancia para las diferentes distancias dentro de las carreteras.

**Figura 2.** Diagrama de Venn para los diferentes sitios dentro de las carreteras, donde se evidencia

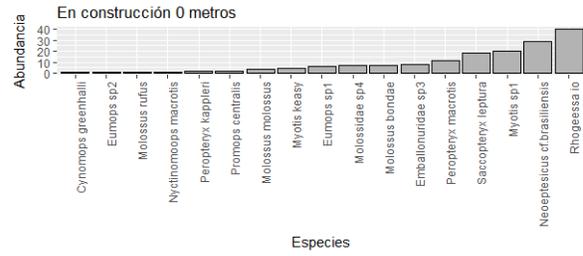
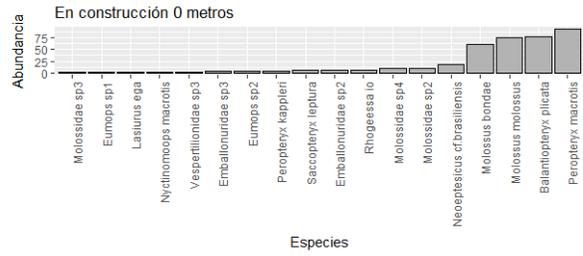
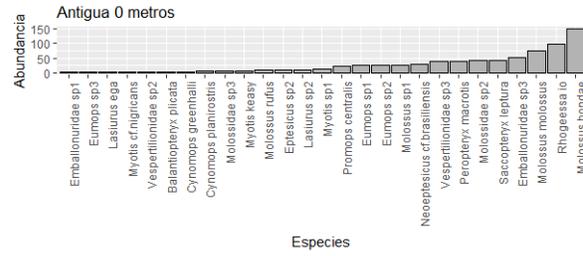
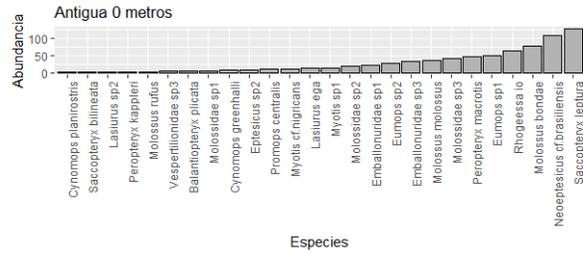
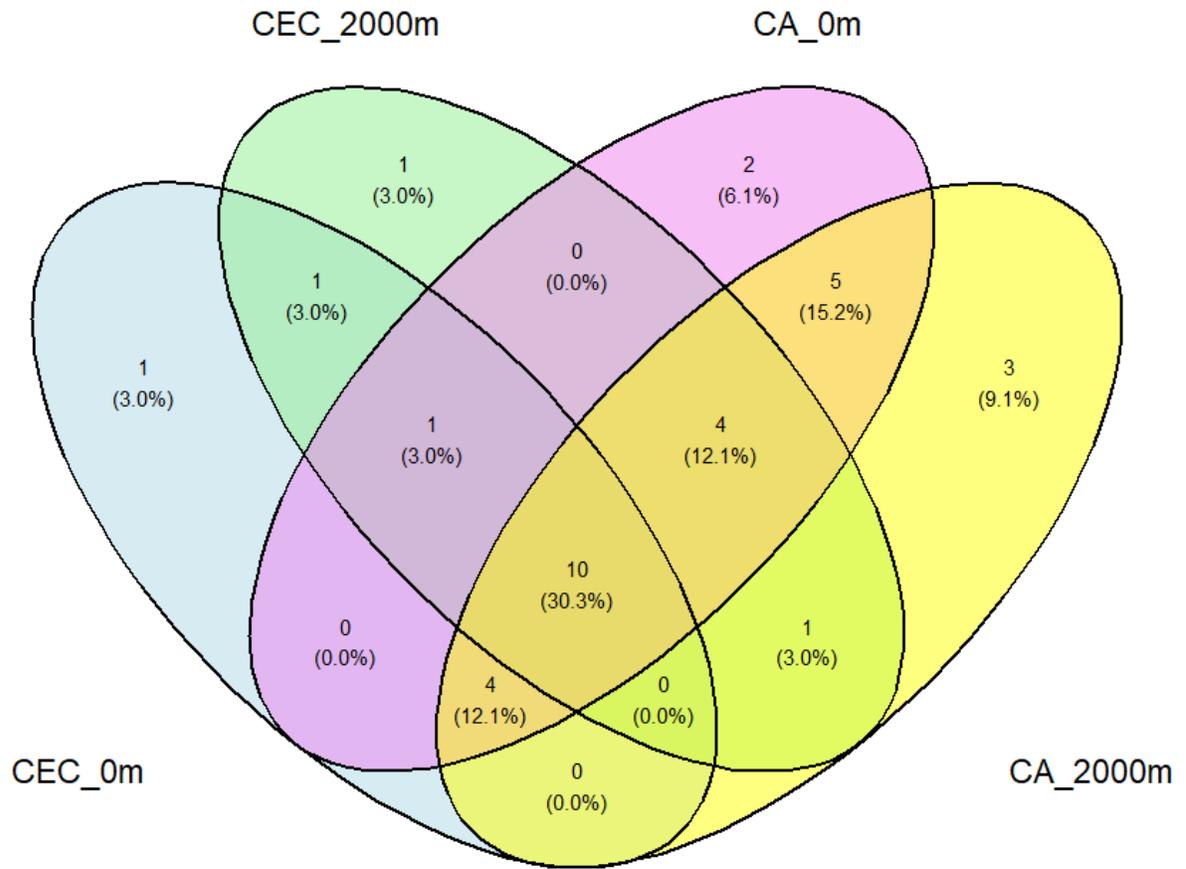


Figura 1. Grafica rango-abundancia para las diferentes distancias dentro de las carreteras.



**Figura 2.** Diagrama de Venn para los diferentes sitios dentro de las carreteras, donde se evidencia el número de especies compartidas