



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
Facultad de Ciencias Exactas y  
Naturales y Agrimensura  
Licenciatura en Ciencias Biológicas

## TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

**¿Afecta la contaminación sonora al canto  
de anuncio de *Dendropsophus nanus* (Anura, Hylidae)?**

Gonzalo Rúben Libramiento De Los Santos

Director: Zaracho Victor Hugo

Co-director: Ingaramo María del Rosario

Laboratorio de Herpetología

FaCENA-UNNE  
2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura  
Licenciatura en Ciencias Biológicas

Trabajo final de Graduación

**¿Afecta la contaminación sonora al canto de anuncio  
de *Dendropsophus nanus* (Anura, Hylidae)?**

**Gonzalo Rubén Libramento De los Santos**

**Director:** Zaracho, Víctor Hugo  
**Co-director:** Ingaramo María del Rosario

Laboratorio de Herpetología  
FaCENA-UNNE  
2022

## RESUMEN

Para muchas especies de animales, la destrucción del hábitat es la principal causa en la disminución o extinción de sus poblaciones. Cuando ésta no es total, algunas pueden mostrar cierta tolerancia, aunque deben afrontar nuevos inconvenientes, por ejemplo, la contaminación sonora de las carreteras en aquellas especies con comunicación acústica. Por lo general, el efecto de la contaminación acústica sobre la fauna no es considerada en evaluaciones ambientales, a pesar de que los ruidos ahuyentan a los animales, y en el caso de los anfibios anuros que se comunican mediante vocalizaciones, pueden interferir significativamente en su reproducción. El objetivo de este trabajo fue abordar un aspecto escasamente desarrollado en el ámbito de la conservación, que son las alteraciones de los paisajes sonoros, y particularmente en este caso, el impacto que puede tener la contaminación acústica por tráfico vehicular en las poblaciones de animales que utilizan las vocalizaciones como medio de comunicación. Puntualmente, se analizó si existen alteraciones o ajustes de los parámetros acústicos del canto de anuncio en *Dendropsophus nanus* en ambientes con contaminación sonora. Para esto, se obtuvieron registros de los cantos de anuncios con un grabador digital acoplado a un micrófono direccional en individuos que se encontraron vocalizando en ambientes sin contaminación acústica (control) y otros en sitios próximos a carreteras con alto tráfico vehicular. Se compararon estadísticamente distintas variables acústicas a partir de oscilogramas y espectrogramas con el fin de identificar aquellas variables que podrían modificarse por efecto de la perturbación. Luego del análisis de las vocalizaciones no se encontraron ajustes en parámetros temporales, sin embargo, se evidenció que existieron diferencias significativas en tres parámetros espectrales del canto de anuncio: frecuencia dominante de la nota B y límite superior de la frecuencia dominante en notas de tipo A y B. El análisis del NMDS basado en el índice de Bray-Curtis no mostró diferencias en las variables acústicas de *D. nanus* entre los dos sitios estudiados. El ruido del tráfico afecta de forma diferente a cada especie de anuro, ya que los individuos pueden modificar parámetros espectrales para evitar el solapamiento de las frecuencias del canto y el ruido ambiental o limitarse a vocalizar en periodos de silencio alterando las tasas de canto. Incluso existe la posibilidad que las especies no alteren sus parámetros acústicos y en lugar de ello evitan los sitios con contaminación acústica. Por otra parte, las características específicas del canto de cada especie determinan que tan plástica puede llegar a ser una especie para ajustar sus parámetros acústicos ante situaciones de ruido ambiental. Esta posibilidad de adaptación determinará qué especies ocupan nichos cercanos a perturbaciones antrópicas y cuáles se verían desplazadas e incluso extintas por la intensidad de la perturbación. Estudios complementarios en otras especies de la anurofauna local permitirán comprender integralmente el impacto de la contaminación sonora e identificar aquellas especies más susceptibles a este tipo de alteraciones.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>HIPÓTESIS Y PREDICCIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>8</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>19</b>

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes del tema

La interferencia y los efectos negativos de la contaminación sonora antrópica en animales ha sido documentada en varios grupos de vertebrados, entre ellos peces, anfibios, aves y mamíferos (e.g., Rabin et al., 2003; Brumm, 2004; Buckstaff, 2004; Sun & Narins, 2005; Halfwerk et al., 2011; Voellmy et al., 2014). Entre estos contaminantes sonoros se encuentran los ruidos producidos por el tráfico (generalmente en un rango de 60-70 dB), y dado que las vocalizaciones son imprescindibles en la reproducción de los anuros, las interferencias en la comunicación acústica pueden amenazar su supervivencia (Read et al., 2014; Caorsi et al., 2017; Troïanowski, et al., 2017). Los ambientes ruidosos pueden afectar la capacidad de las hembras (y de otros machos) para orientarse hacia los sitios de reproducción, donde generalmente son los machos los primeros en llegar y comenzar las vocalizaciones (Barber et al., 2010; Cunnington & Fahrig, 2013). Como respuesta a estas alteraciones del paisaje sonoro, los anuros en general modifican sus parámetros acústicos, entre ellos, las frecuencias de sus cantos y así evitan el “enmascaramiento sonoro” o solapamientos con los ruidos ambientales (Sun & Narins, 2005; Roca et al., 2016).

Varios estudios documentaron alteraciones en el comportamiento acústico de anuros en sitios con contaminación acústica, incluidos aquellos por ruidos del tráfico. Entre estos últimos, pueden mencionarse modificaciones en las vocalizaciones de *Dryophytes cinereus* y *D. versicolor* (Fellers, 1979). En *Andinobates bombetes* (Vargas-Salinas & Amézquita, 2013) y en *Hyla arborea* (Lengagne, 2008) el ruido del tráfico provocó una disminución de la actividad de llamada de los machos al aumentar la amplitud del ruido. Además, los resultados mostraron que, en respuesta a la reproducción de ruidos, los machos no pudieron ajustar sus parámetros temporales o de frecuencia para aumentar la eficiencia de la transferencia de información.

En otras especies como *Litoria ewingii* y *Crinia signifera* se observaron incrementos de más de 0,10 y 0,15 kHz en sus frecuencias dominantes cuando el nivel de ruido por el tráfico es alto (Parris et al. 2009). Y en *Lithobates clamitans*, *L. pipiens*, *Dryophytes versicolor* y *Anaxyrus americanus* se ha encontrado también que los machos alteran sus vocalizaciones con el incremento del ruido provocado por motocicletas (Cunnington & Fahrig, 2010). En el caso de *Hyperolius pickersgilli*, ante los ruidos producidos por aviones, los machos realizaron cambios en las propiedades temporales y espectrales de sus cantos: los machos cantan significativamente más durante y después del sobrevuelo, pero reanudan los ritmos de cantos normales 15 minutos después del sobrevuelo (Kruger & Du Preez, 2016). En *Lithobates areolatus* se observó también que la contaminación acústica actúa como desencadenante de los cantos de combate, con la consiguiente exposición a los depredadores (Engbrecht et al., 2015).

Caorsi et al. (2017) observaron que *Boana bischoffi* y *B. leptolineata* ante la exposición al ruido del tráfico, cambian sus parámetros acústicos. Los cantos de anuncio de *B. bischoffi* disminuyeron durante la exposición al ruido de la carretera y la frecuencia dominante disminuyó con el tiempo. En este mismo estudio se observó desplazamiento espacial en ambas especies, las cuales se alejaron de la fuente de sonido. Estos resultados proporcionan evidencia de que el ruido del tráfico afecta el comportamiento de

los cantos de anuncio de los anuros, y que la intensidad del ruido es un factor importante que afecta la forma en que responden las especies.

El efecto del enmascaramiento sonoro ha sido estudiado también en *Eleutherodactylus coqui*. Las ranas evitaron la superposición acústica con estímulos de tono de duración relativamente larga, cantando solo dentro del corto intervalo de silencio entre tonos (Narins, 1982). En este mismo estudio se observó un cambio temporal en el patrón de llamada en respuesta a estímulos de tono de varias frecuencias e intensidades.

En *Pseudacris regilla*, los machos no pudieron cambiar sus vocalizaciones para compensar el ruido de la carretera (Nelson et al., 2017). Así, en los hábitats con mucho ruido, la comunicación espaciotemporal se redujo drásticamente, lo que puede tener implicaciones para su éxito reproductivo. En *Dendropsophus triangulum* la tasa de canto prácticamente se duplicó ante la exposición de ruidos antropogénicos (Kaiser & Hammers, 2009).

En *Hyla chrysoscelis* se analizó la respuesta de las hembras a los cantos de anuncio producidos en diferentes condiciones, y se observó que las hembras disminuyen su orientación hacia la fuente emisora (en este caso el canto de un macho) tanto con el ruido producido por un coro reproductivo o por el tráfico (Bee & Swanson, 2007), limitando así el espacio activo de las señales acústicas.

En especies chilenas del género *Eupsophus* se observó que los individuos no experimentaron cambios notorios en su actividad vocal en presencia de ruidos naturales de viento, lluvia, arroyo y mar ni ante un ruido filtrado equivalente a las frecuencias comprendidas del rango del espectro del canto de los machos de esta especie; sólo respondieron activamente si el ruido se acompañaba de cantos sintéticos. En este último caso, la frecuencia de los cantos evocados disminuye y su intensidad aumenta al incrementarse la intensidad del ruido filtrado (Penna et al., 2005; Penna & Hamilton-West, 2007).

Un aumento en la amplitud del canto fue también encontrado en *Odorrana tormota* como respuesta al incremento de los niveles de ruido (Shen & Xu, 2016). Los individuos de esta especie han desarrollado la capacidad de producir varios cantos que contienen armónicos ultrasónicos y de comunicarse en arroyos torrentosos ruidosos. Sin embargo, no está claro cómo las ranas regulan la vocalización en respuesta al aumento de los niveles de ruido. Los machos eran capaces de ajustar rápidamente la frecuencia fundamental y la amplitud de las señales antifonales a medida que aumentaban los niveles de ruido.

En Argentina, los antecedentes sobre este tema se limitan al único estudio realizado en *Scinax nasicus* (Leon et al., 2019). Estos autores registraron que el ruido del tráfico en sitios de reproducción, al costado de carreteras, con amplitudes de 68 dB, determina ajustes de sus cantos de anuncio, entre ellos cantos de menor duración y de mayor amplitud, menor número de pulsos por notas y variaciones en el rango de las frecuencias máxima, mínima y dominante, para este último caso, ajustes de alrededor de 600 Hz.

La especie seleccionada para este estudio, *Dendropsophus nanus* (Boulenger, 1889) es una pequeña rana arborícola (longitud hocico-cloaca -LHC- hasta 24 mm), de amplia distribución en Argentina, Paraguay, Brasil, Bolivia y Uruguay. Se la encuentra comúnmente en la vegetación emergente y se reproduce durante la estación lluviosa (primavera-verano). En el nordeste argentino es comúnmente encontrada en la mayoría de los cuerpos de agua, incluso en áreas antropizadas (Zaracho et al., 2012).

En cuanto a su comportamiento y características acústicas, los machos vocalizan desde el atardecer y hasta el amanecer y su canto de anuncio está compuesto principalmente por dos tipos de notas: una nota de larga duración (tipo A) que se puede emitir individualmente (canto simple) o en combinación con notas de corta duración (tipo B) (canto compuesto). En este último caso se emite primero la nota larga y a continuación una serie de notas cortas en número variable (Fernández, 2015).

## **Origen y fundamentos de la investigación**

Para muchas especies de animales, la destrucción del hábitat es la principal causa en la disminución de sus poblaciones, y su posterior extinción, al menos de manera local. En el mejor de los casos, aquellas especies resilientes a esta alteración deben enfrentarse a otros factores que acompañan estas causas. Este puede ser el caso de ambientes naturales que son afectados para la construcción de carreteras, en los que además de la destrucción del hábitat, incorporan otros factores negativos, por ejemplo, la contaminación sonora por el tráfico intenso de vehículos. Los ruidos de por sí ahuyentan a la fauna, pero en el caso de los anfibios y de las aves que se comunican mediante vocalizaciones, interfieren significativamente, y de manera negativa (Brumm, 2004; Sun & Narins, 2005; Halfwerk et al., 2011). Esta situación se agrava muchas veces por otros factores como el estrés fisiológico (esto es, niveles altos de corticosterona) y alteraciones en el comportamiento migratorio asociado a la reproducción, en el caso de los anuros (Witte et al., 2001; Tennesen et al., 2014).

Particularmente en el caso de los anfibios anuros, las vocalizaciones son fundamentales durante la etapa reproductiva. Recordemos que los cantos de las distintas especies tienen características exclusivas, y, por lo tanto, las hembras pueden localizar de esta manera a los machos co-específicos. A diferencia de las aves, los anuros en general no se desplazan grandes distancias, y son fieles a sus sitios de reproducción, por lo que en el caso de que en estos ambientes alterados puedan formarse cuerpos de agua, su actividad reproductiva se realizará de igual modo. Y es aquí donde deben convivir con la contaminación ambiental, y se ha observado, justamente, que varias especies de anuros realizan ajustes en los patrones temporales y espectrales de sus cantos (Witte et al., 2001).

A través de este estudio se busca indagar acerca de potenciales efectos de la contaminación sonora sobre la fauna local; particularmente, evaluar si existen alteraciones o ajustes de las vocalizaciones de anuros, tomando como modelo una especie regional, frecuentemente encontrada en ambientes prístinos, pero además común en áreas parcialmente antropizadas. Dado que existe importante evidencia de que muchas especies alteran sus propiedades acústicas en ambientes ruidosos, se espera además contribuir al uso de las vocalizaciones de anuros como bioindicadores en el monitoreo de contaminación acústica en paisajes sonoros antrópicos (Leon et al., 2019).

Finalmente, los ajustes o cambios en las vocalizaciones de anuros por contaminación sonora pueden contribuir a explicar las variaciones encontradas entre distintas poblaciones, más allá de motivos técnicos o variaciones geográficas comúnmente alegadas, ampliando su aplicación entonces, a estudios taxonómicos.

## OBJETIVOS

### General

- Evaluar ajustes en las variables físicas del canto de anuncio de *Dendropsophus nanus* en ambientes acústicamente alterados por el tráfico vehicular en la ciudad de Corrientes (Argentina)

### Particulares

- Caracterizar los parámetros temporales y espectrales del canto de anuncio de poblaciones de *D. nanus* en sitios sin contaminación acústica y en sitios con alto tráfico vehicular.
- Comparar los parámetros acústicos del canto de anuncio entre ambas situaciones.
- Identificar las variables temporales y espectrales que pueden ser afectadas por la contaminación sonora.

## HIPÓTESIS

- La contaminación acústica por ruido del tráfico produce ajustes en las vocalizaciones de *D. nanus* para maximizar la transmisión del sonido de sus cantos en ambientes ruidosos.

## PREDICCIÓN

- Los parámetros temporales y espectrales de los cantos de anuncio difieren entre poblaciones de ambientes prístinos y contaminados acústicamente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y sitios de muestreo:

Las vocalizaciones de *D. nanus* estudiadas en este trabajo fueron obtenidas en el NO de la provincia de Corrientes, la cual está incluida dentro de la ecorregión Chaco Húmedo (Dinerstein et al., 2017). En esta área se seleccionaron diferentes sitios de muestreo que incluyen dos condiciones: áreas sin contaminación acústica o "sin ruido" (Sitio 1 y Sitio 2), considerados como control; y sitios próximos a carreteras con alto tráfico vehicular o "con ruido" (Sitios 3,4,5 y 6) (Fig. 1).

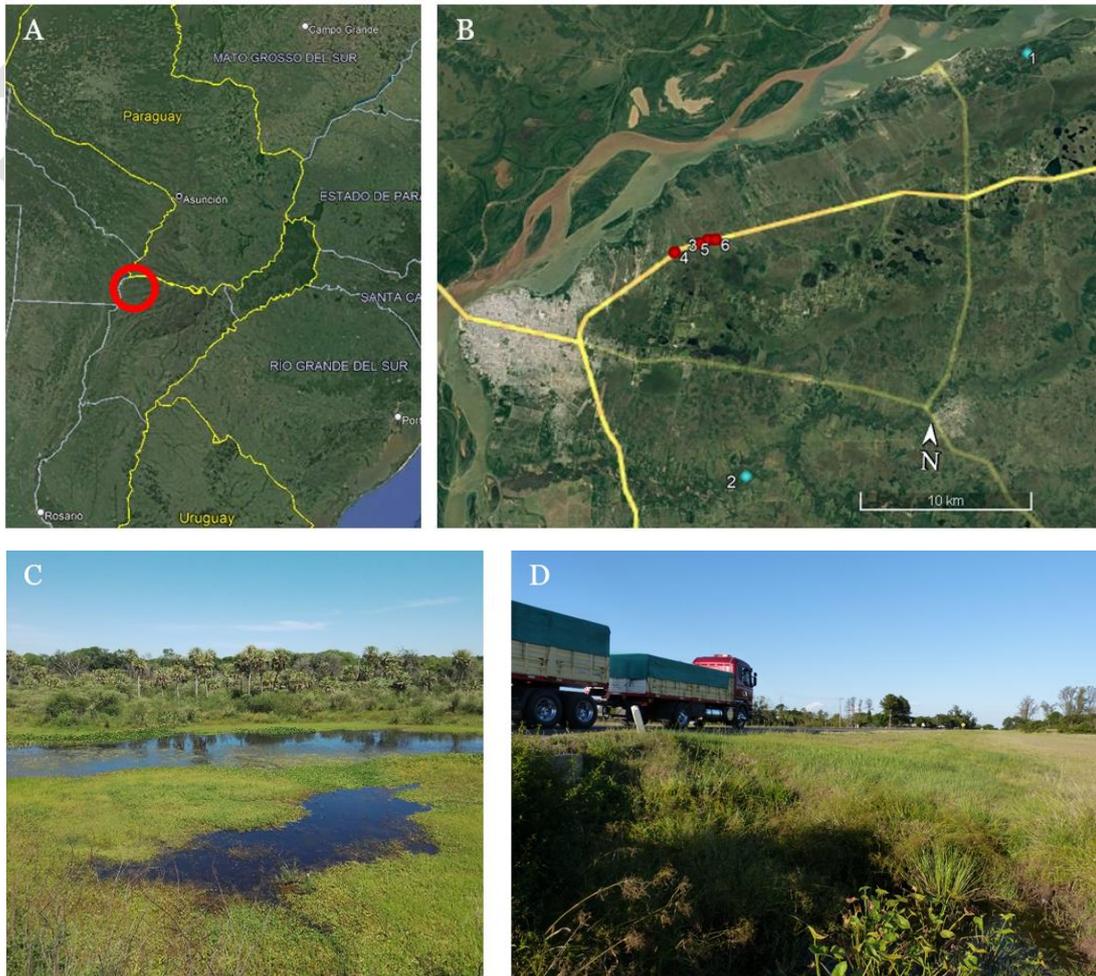
Sitio 1: cañada en la Ea. San Pedro (Paso de la Patria, Corrientes, Argentina 27°18'19.03"S 58°31' 4.72"O).

Sitio 2: laguna (Laguna Yacaré) en el interior del Parque Provincial San Cayetano (27°32' 56.22"S 58° 40' 39.27"O)(Fig. 1C).

Sitio 3: charca semipermanente a unos 60 m de la ruta Ruta Nacional 12 (Km 1040 27°25'25.92"S 58°42'35.19"O)

Sitios 4 (27°25'55.31"S 58°43'46.20"O), 5 ( 27°25'34.19"S 58°42'52.37"O) y 6 ( 27°25'24.28"S 58°42'18.29"O): cuerpos de agua temporarios al costado de la ruta, a unos 10 m de la calzada, dos de ellos asociados a pequeños puentes y ubicados entre el Km 1038 y Km 1041 de la Ruta Nacional N° 12,

en cercanías del B° Yecoha (ciudad de Corrientes). Dado que las poblaciones no estaban constituidas por muchos individuos, y por sus características fisonómicas similares, fueron agrupados en un único bloque para los distintos análisis (Fig. 1D).



**Figura 1.** A y B, localización del área de estudio y sitios de muestreo en el NO de la provincia de Corrientes: 1 (Ea. San Pedro) y 2 (Parque Provincial San Cayetano), sitios sin contaminación acústica; 3-6; sitios con contaminación acústica, todos al margen de la Ruta Nacional N° 12. C, Sitio 2, laguna Yacaré, en el interior del PPSC; D, Sitio 4, charca al costado de la Ruta Nacional N° 12, Km 1038.

### Actividades de campo

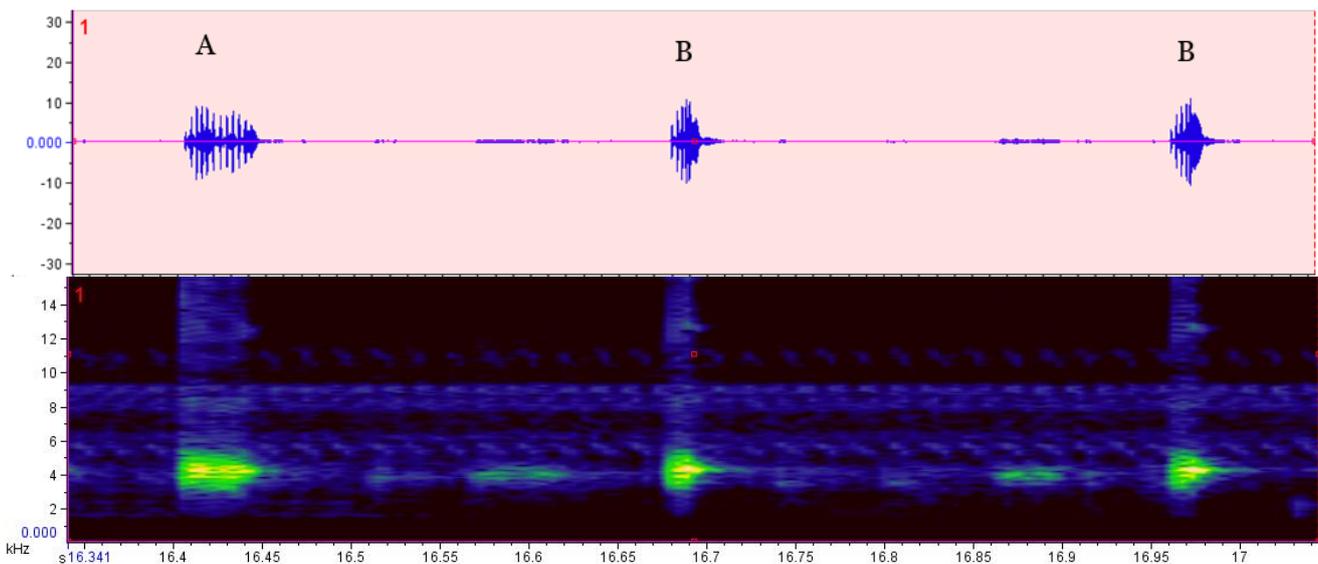
Los trabajos de campo se realizaron de marzo a noviembre de 2022, entre el atardecer y hasta la medianoche. Todas las vocalizaciones se obtuvieron con un grabador M-Audio Micro Track II acoplado a un micrófono direccional Sennheiser ME66 (K6) utilizando la misma configuración en el volumen y nivel de entrada de sonido para cada grabación. Los registros se realizaron con una tasa de muestreo de 48 kHz y 16 bits de resolución. Además, cada registro se realizó a una distancia de  $50 \pm 5$  cm del individuo. Una vez localizado el individuo se esperó al menos 5 min para realizar las grabaciones y evitar así el efecto de cualquier disturbio provocado por el observador. Después de cada grabación, se registró la temperatura del aire con un termohigrómetro digital TDA y los individuos fueron capturados para medir la longitud

hocico-cloaca (LHC) y el peso corporal (PC). Estas variables fueron medidas con un calibre digital ( $\pm 0,01$  mm) y con una balanza de precisión Traveler TA302 ( $\pm 0,01$  g), respectivamente. Luego de las mediciones los individuos fueron liberados en el mismo sitio. La temperatura y el tamaño corporal pueden determinar ciertos parámetros acústicos (Parris et al., 2009; Brumm, 2004).

Para evitar variaciones por la selección del hábitat, cuando fue posible, los registros se realizaron a la misma distancia del suelo o superficie del agua ya que estos factores pueden afectar la mejora o atenuación de la frecuencia (Catchpole et al., 1995; Zollinger & Brumm, 2015). Los registros obtenidos fueron catalogados e incorporados a la Fonoteca Zoológica de la UNNE. Para caracterizar el ruido ambiental de cada sitio se midió la amplitud del ruido en cada sitio usando un decibelímetro MASTECH MS 6701 (30db -130db;  $\pm 1.5$  db)

### Análisis de las vocalizaciones

En el canto de anuncio de *D. nanus* pueden reconocerse dos tipos de cantos (simples y compuestos), y a su vez, dos tipos de notas (notas largas o de tipo A, y notas cortas o de tipo B) (Fernández, 2015). Las notas A se emiten aisladas, o al inicio de los cantos compuestos. Las notas B forman parte del canto compuesto y, en estos, se emiten a continuación de las notas A (Fig. 2). Dado que no existen diferencias entre las notas A aisladas y la de los cantos compuestos se consideraron como una única nota (A) (Fernández, 2015).



**Figura 2.** Estructura del canto de anuncio de *Dendropsophus nanus*, en el que se observa un canto compuesto formado por una nota larga o de tipo A y dos notas cortas o de tipo B. (Dendropsophus\_nanus\_GL25file0004).

Las mediciones de las variables acústicas, siguiendo la terminología de Köhler et al. (2017), fueron realizadas a partir de oscilogramas y espectrogramas con el software Raven Pro 1.4 (The Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA). Los componentes espectrales fueron desarrollados con un transformador de Fourier (FFT) de 512 puntos y con la función de ventana Hanning, con brillo y contraste al 50%.

Las variables consideradas, fueron:

1. duración de la nota A (ms)
2. duración de la nota B (ms)
3. número de pulsos por nota A
4. número de pulsos por nota B
5. duración del canto compuesto
6. número de notas por canto compuesto
7. tasa de repetición de canto
8. tasa de repetición de notas en canto compuesto
9. internota
10. intercanto
11. pico de frecuencia dominante de la nota A (kHz)
12. pico de frecuencia dominante de la nota B (kHz)
13. límite superior de la frecuencia dominante de la nota A (kHz)
14. límite inferior de la frecuencia dominante de la nota A (kHz)
15. límite superior de la frecuencia dominante de la nota B (kHz)
16. límite inferior de la frecuencia dominante de la nota B (kHz)
17. Ancho de banda de frecuencia nota A
18. Ancho de banda de frecuencia nota B
19. pico de amplitud nota A (dB)
20. pico de amplitud nota B (dB)

Para cada individuo, se consideraron 10 notas tipo A (5 emitidas solas y 5 emitidas al inicio de cantos compuestos) y 10 notas B. Para calcular la tasa de repetición de notas en el canto compuesto se tomaron como referencia cinco grupos de notas por individuo y para calcular la tasa de repetición de canto se tomó la duración total de la grabación y todas las notas solitarias y grupos de notas presentes por individuo.

### **Análisis estadísticos**

En primer lugar, se comparó la temperatura ambiental y el tamaño corporal (LHC=Longitud hocico-cloaca; PC=peso corporal) entre las muestras procedentes de ambas condiciones (con ruido y sin ruido) con el fin de evaluar algún posible efecto de estas variables en las variables acústicas. Según la normalidad de los datos, se utilizó una prueba U de Mann-Whitney o una prueba t-student. Una vez evaluado el efecto de estas variables, se procedió de igual modo con cada una de las variables acústicas.

Complementariamente, para ordenar las muestras basadas en las variables acústicas se realizó un análisis multivariado de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) basado en el índice Bray Curtis. Esta es una técnica de ordenación que utiliza una medida de disimilitud para representar muestras como puntos en un espacio y explorar gráficamente si las variables varían en los sitios de muestreo. Para evaluar la precisión de la ordenación, utilizamos una función de estrés que va de 0 a 1, donde los valores < 0,20 sugieren que la ordenación representa con precisión la disimilitud entre las muestras. Para cada uno de

los sitios se trazaron elipses de ordenación con base en los intervalos de confianza al 95 % del centroide de cada tratamiento. Los análisis se realizaron con el software PAST (Hammer et al., 2001).

## RESULTADOS

La mayoría de los individuos registrados se encontraban vocalizando en el interior de cuerpos de agua, apoyados sobre la vegetación emergente, a 10-30 cm de la superficie del agua.

Se analizaron 1340 notas pertenecientes al canto de anuncio de 67 individuos de *D. nanus*, de los cuales 33 fueron obtenidos en ambientes "sin ruido" y 34 "en ambientes con ruido". En los sitios sin ruido, el valor máximo del nivel de sonido varió entre 38 y 42 db, mientras que, en los sitios con ruido, en el sitio 3 fue de 66 db y en los sitios 4-6 de 78 db. Según las estadísticas de Tránsito Medio Diario Anual (Tmda) 2013 de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) el tráfico vehicular en el segmento de la Ruta Nacional N° 12 en el que los sitios con ruido fueron seleccionados es de aproximadamente 6000 vehículos por día.

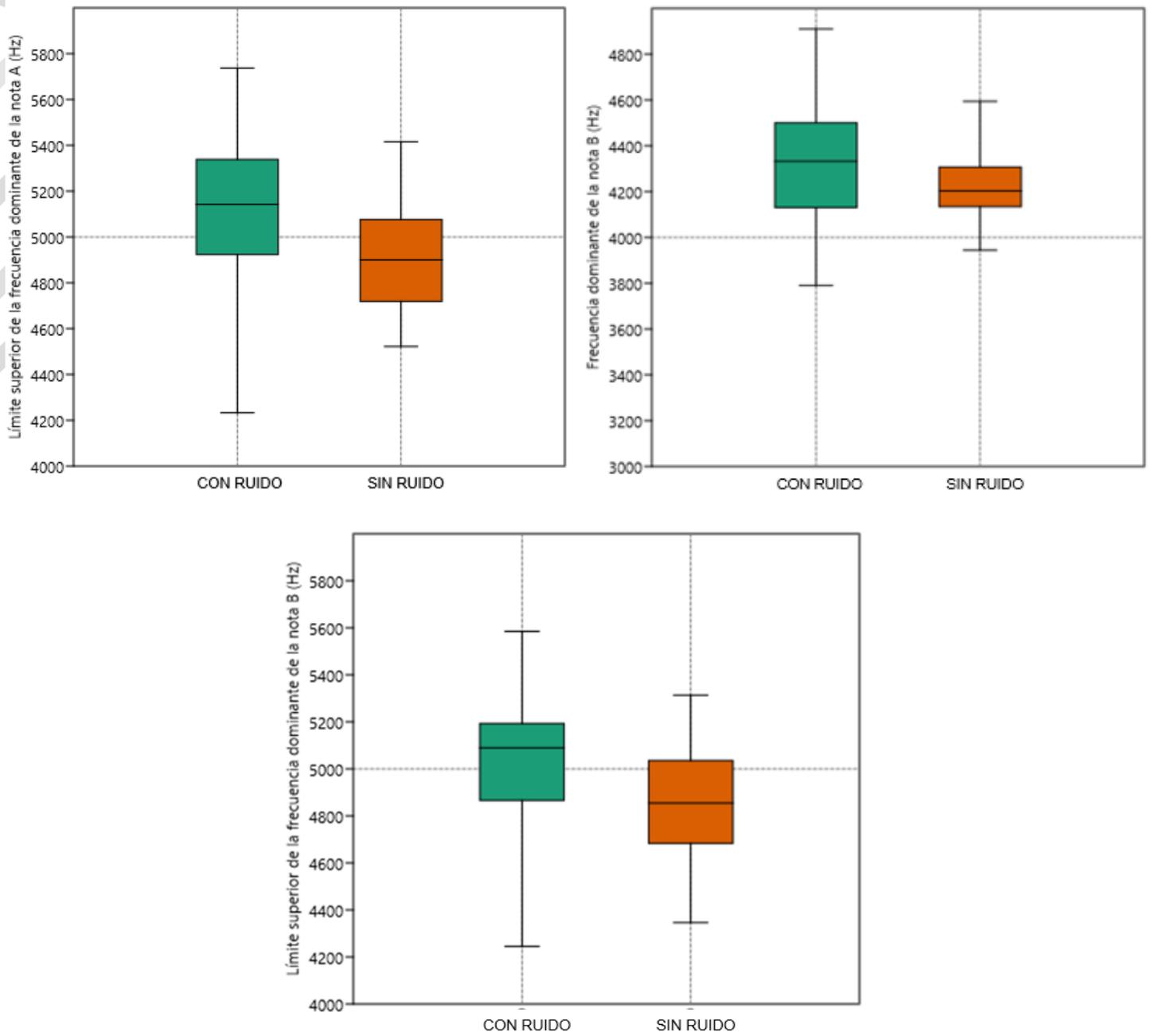
Durante los muestreos no se observaron diferencias significativas en la temperatura ambiental entre los sitios "con ruido" y "sin ruido" ( $U = 887$ ,  $p > 0,35$ ), al igual que en el tamaño corporal (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Temperatura ambiental y tamaño corporal de individuos de *D. nanus* en ambientes del NO de Corrientes (Argentina) sin contaminación sonora, y con contaminación sonora por tráfico vehicular. PC: peso corporal; LHC: longitud hocico cloaca.

	Sitios sin contaminación sonora (n=34)	Sitios con contaminación sonora (n=33)	Test estadísticos
<b>Temperatura °C</b>	20,9 ± 3,1 (14,3-25,5)	23,1 ± 3,6 (18,9-30,3)	U=487 p=0,35
<b>PC (g)</b>	0,4 ± 0,1 (0,3-0,6)	0,4 ± 0,1 (0,2-0,6)	t=1,33 p=0,18
<b>LHC (mm)</b>	20,9 ± 1,8 (15-22,9)	20,6 ± 1,4 (17,8- 23,2)	U=432 p=0,1

El promedio, desvío estándar y rango de cada una de las variables acústicas analizadas en cada condición (con ruido y sin ruido) son presentadas en la Tabla 2 y 3.

Las variables temporales del canto no mostraron diferencias significativas (Tabla 2). Entre las variables espectrales, se encontraron diferencias significativas en el límite superior de la nota A, en el pico de frecuencia dominante de la nota B y en el límite superior de la nota B (Tabla 3). Para los tres casos, se observa que en situación de contaminación acústica el rango de variación es mayor que en los sitios sin ruido ambiental (Fig. 3)



**Figura 3.** Boxplot de variables acústicas espectrales con diferencias significativas entre los sitios con ruido y sin ruido. A) límite superior de la frecuencia dominante de la nota A, B) frecuencia dominante de la nota B, C) límite superior de la frecuencia dominante de la nota B.

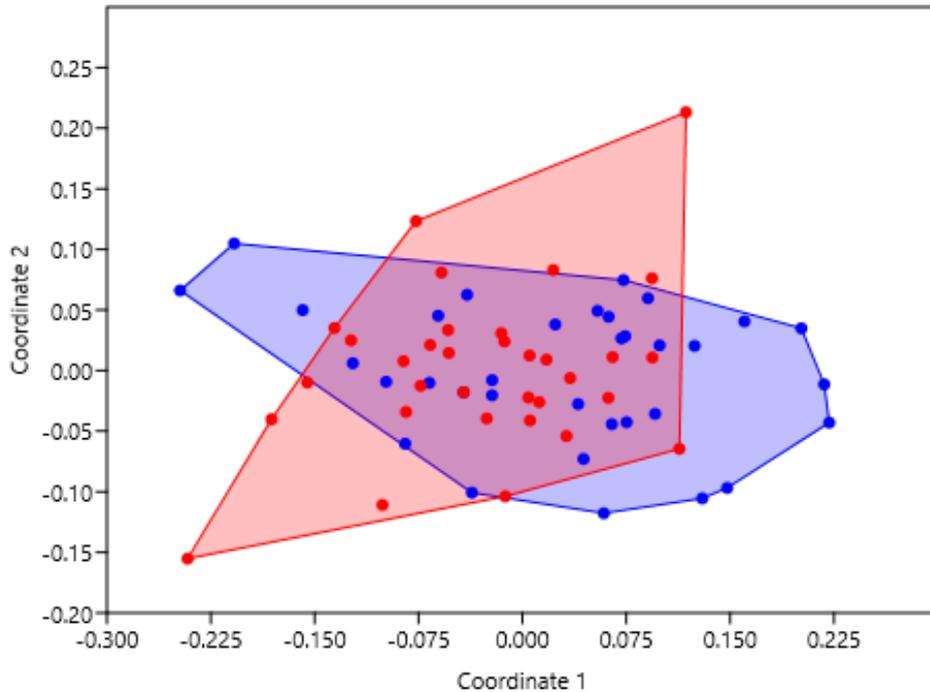
**Tabla 2.-** Parámetros temporales del canto de anuncio de *D. nanus* en ambientes del NO de Corrientes (Argentina) sin contaminación sonora, y con contaminación sonora por tráfico vehicular.

	<b>Sitios sin contaminación sonora</b> (n=33)	<b>Sitios con contaminación sonora</b> (n=34)	Test estadísticos
Duración nota A (ms)	38,9 ± 9 (23,3-58,7)	38,3 ± 6,5 (22,6-53,6)	t=0,331 p=0,74
Duración de la nota B (ms)	21,3 ± 4,1 (14,2-32,3)	21,7 ± 2,7 (17,7- 28,0)	t=0,53 p=0,59
N° pulsos nota A	9,8 ± 1,8 (6,4-13,2)	9,8 ± 1,7 (5,1-12,3)	t=0,079 p=0,93
N° pulsos por nota B	4,7 ± 1,1 (2,3 - 6,8)	4,8 ± 1,1 (2,7-7,8)	t=0,38 p=0,70
Duración del canto compuesto (ms)	409,5 ± 145,8 (256,8 - 796,8)	427,5 ± 145,2 (214,7-1091,3)	U=438,5 p=0,12
N° notas/ canto compuesto	2,4 ± 0,4 (2 - 3,6)	2,4 ± 0,5 (2-4,6)	U=493,5 p=0,39
Tasa de repetición de canto (cantos/min)	39,1 ± 11,1 (21,1 - 72,8)	43,8 ± 16,9 (19,9-92,1)	U=478 p=0,3
Tasa de repetición de notas en canto compuesto (notas/min)	215,4 ± 37,8 (139,9 - 306,1)	209,6 ± 39,8 (151,4-325,1)	U=450 p=0,16
Intercanto (ms)	1103,2 ± 273,3 (673,8-1774,3)	1061,7± 280,6 (532,7-1541,2)	t=0,61 p=0,54
Internota (ms)	243,7 ± 51,9 (157,9 - 363,7)	247,1 ± 43 (147,8-343,8)	U=473,5 p=0,27

El análisis del NMDS basado en el índice de Bray-Curtis no mostró diferencias en las variables acústicas de *D. nanus* entre los dos sitios estudiados debido a la superposición de los intervalos de confianza del 95% (Fig. 4). En el esquema presentado no se evidencian las diferencias en los parámetros espectrales debido a que las variables restantes no presentan diferencias significativas y son muy similares entre sí. La representación obtenida por el análisis NMDS es de buena calidad debido al bajo valor de estrés (estrés = 0,14).

**Tabla 3.-** Parámetros espectrales del canto de anuncio de *D. nanus* en ambientes del NO de Corrientes (Argentina) sin contaminación sonora, y con contaminación sonora por tráfico vehicular. \* diferencia significativa  $p < 0,05$

	<b>Sitios sin contaminación sonora</b> (n=33)	<b>Sitios con contaminación sonora</b> (n=34)	<b>Test estadísticos</b>
Pico de frecuencia dominante nota A (kHz)	4228,1 ± 152,6 (3841,5 - 4582,3)	4329,4 ± 292,1 (3789,8 - 4978,5)	t=1,77 p=0,08
Pico de frecuencia dominante nota B (kHz)*	4203,6 ± 143,8 (3944,9 - 4593,8)	4326,1 ± 273,4 (3789,8 - 4909,5)	t=2,28 p=0,02
Límite superior de la frecuencia dominante de la nota A (kHz)*	4919,9 ± 233,3 (4521,8 - 5415,8)	5097,3 ± 334,8 (4232,6 - 5736,8)	t=2,50 p=0,014
Límite inferior de la frecuencia dominantes de la nota A (kHz)	3315,4 ± 254,3 (2904,5 - 3954,8)	3432,9 ± 266,1 (2984,8 - 3910,3)	t=1,84 p=0,06
Ancho de banda de frecuencia nota A	947,9 ± 426,5 (534 - 2618,4)	827,3 ± 222,1 (401,9 - 1274,7)	U=486,5 p=0,35
Límite superior de la frecuencia dominante de la nota B (kHz)*	4866,3 ± 228,5 (4346,1 - 5313,8)	5029,3 ± 300,2 (4244,4 - 5584,9)	t=2,49 p=0,015
Límite inferior de la frecuencia dominante de la nota B (kHz)	3397,8 ± 231,8 (3018,2 - 3955,9)	3501,5 ± 251,3 (3056,3 - 4104,5)	t=1,75 p=0,08
Ancho de banda de frecuencia nota B	737,4 ± 177,7 (413,4 - 1274,7)	687,1 ± 179,3 (344,5 - 1119,7)	t=1,15 p=0,25
Pico de amplitud nota A (dB)	94,2 ± 4,4 (84,8 - 102,3)	95,3 ± 3,5 (87,7 - 104,1)	t=1,15 p=0,25
Pico de amplitud nota B (dB)	95,7 ± 4,4 (86,14 - 104,9)	96,8 ± 3,7 (89,2 - 105,5)	t=1,08 p=0,28



**Figura 4.** Escalamiento multidimensional no métrico (NMS) basado en el índice Bray Curtis. Polígono rojo: sin ruido, polígono azul: con ruido; Stress: 0,14

## DISCUSIÓN

Las especies de anuros pueden coexistir con la contaminación sonora, aunque en ocasiones alterando algunos o todos sus parámetros acústicos (Sun & Narins, 2005; Roca et al., 2016). Otras especies, como *Hyla arborea* no realizan ajustes de sus parámetros temporales ni espectrales (Lengagne, 2008) pero pueden mitigar el efecto de la contaminación acústica a través de coros que estimulan a los individuos a vocalizar. Asimismo, en *Andinobates bombetes* y *Eleutherodactylus coqui* se observaron comportamientos de omisión de cantos en momentos de alta intensidad de ruido, con tendencia a cantar más frecuentemente cuando el ruido por tráfico automotor fue más bajo (Narins, 1982; Vargas-Salinas & Amézquita, 2013). Si bien en este TFG no se evaluó la frecuencia ni comportamiento de canto, las vocalizaciones de *D. nanus* fueron prácticamente continuas durante todas las horas de muestreo, independientemente del ruido intenso de la carretera. De modo similar, en *Pseudacris regilla*, no se observaron ajustes en las vocalizaciones de los machos para compensar el ruido de la carretera. Esto tiene un efecto sumamente negativo, ya que ciertos sitios propicios para la reproducción, pero con altos niveles de contaminación sonora ya no son utilizables por dicha especie debido a que el ruido dificulta la comunicación espacio temporal y por ende a la reproducción (Nelson et al., 2017). Este es un claro ejemplo de que un hábitat puede ser destruido sin que se observe una modificación fisonómica del mismo a simple vista.

En contraste con algunas especies en las cuales determinadas variables acústicas temporales como la tasa de canto o la duración de las vocalizaciones son modificadas ante disturbios sonoros en el ambiente (Kaiser & Hammers, 2009; Leon et al., 2019), en *D. nanus* no se encontraron diferencias de este tipo entre los sitios estudiados. Las únicas variables con diferencias significativas en el canto de anuncio de *D. nanus* entre sitios con ruido y sin ruido fueron variables espectrales como el límite superior de la frecuencia dominante de la nota A y de la nota B, y en el pico de frecuencia dominante de la nota B. A pesar de estas diferencias, el análisis NMDS no mostró diferencias en las variables acústicas de *D. nanus* entre los dos sitios estudiados. Adicionalmente, en este TFG se encontró que el rango de algunas variables espectrales (entre ellas las mencionadas previamente) fueron mayores en poblaciones de *D. nanus* en ambientes con ruido. Esta característica podría favorecer un ajuste de los cantos en situaciones de contaminación sonora, y así intentar mejorar la transmisión de la información en la comunicación intraespecífica. Además, esto podría permitir que las especies de sitios ruidosos eviten las frecuencias bajas de ruido de la carretera y el solapamiento con las frecuencias de sus vocalizaciones.

En especies afines filogenéticamente como *Dendropsophus triangulum*, la tasa de canto prácticamente se duplicó en aquellos individuos expuestos a ruidos antropogénicos (Kaiser & Hammers, 2009). Sin embargo, en *D. nanus* no se evidenciaron diferencias en parámetros temporales, sino más bien se vieron diferencias en parámetros espectrales, lo que nos permite interpretar que dentro de un mismo género también pueden variar las estrategias que adopta cada especie para enfrentar la problemática presentada por el ruido ambiental.

Estudios en especies de *Eupsophus* han mostrado que los machos no experimentaron cambios notorios en su actividad vocal en presencia de ruidos naturales como el viento, la lluvia o sonidos comprendidos en el rango del espectro de canto de los machos de la misma especie. Sin embargo, en respuesta a ruidos fuera de estas características, se observó una disminución en la tasa de canto, duración del canto y amplitud (Penna et al., 2005; Penna & Hamilton-West, 2007). Modificaciones en la amplitud del canto como las observadas en estas especies, tampoco fueron encontradas en *Dendropsophus nanus*, ya que las amplitudes de las vocalizaciones en sitios ruidosos y no ruidosos fueron similares.

Finalmente, en las vocalizaciones de *Scinax nasicus* se han registrado modificaciones tanto temporales (cantos de menor duración y de mayor amplitud, menor número de pulsos por notas), como espectrales (variaciones en el rango de las frecuencias máxima, mínima y dominante) (Leon et al., 2019). Sin embargo, y en contraste con *D. nanus*, en *Scinax nasicus* las variables acústicas presentan un rango amplio de variación. Por ejemplo, la duración de la nota en *Scinax nasicus* varía de 50-350 ms, mientras que en *D. nanus* varía de 22-58 ms (nota A) y entre 14-32 (nota B). Esto implica que en *D. nanus* ajustes en esta variable pueden estar limitados por su duración. De este modo, las características particulares del canto de cada especie podrían facilitar o limitar los ajustes o adaptaciones de las vocalizaciones de las especies que cantan en sitios ruidosos.

## CONCLUSIONES

- El ruido del tráfico no alteró los parámetros temporales del canto de anuncio de *D. nanus*, sin embargo, se encontraron diferencias significativas en algunos parámetros espectrales, lo que podría indicar que la especie posee la capacidad de realizar ciertos ajustes con el fin de mejorar su comunicación y evitar el enmascaramiento sonoro.
- La presencia de individuos vocalizando al costado de carreteras sugiere que el ruido del tráfico vehicular no interfiere significativamente en las vocalizaciones de *D. nanus* favoreciendo su existencia en áreas perturbadas, a diferencia de otras especies que se verían desplazadas e incluso extintas por la intensidad de la perturbación.
- En base al presente estudio y lo analizado en trabajos con más de una especie como el de Cunnington & Fahrig (2010) es evidente que el ruido del tráfico afecta de forma diferente a cada especie de anuro, ya que los individuos pueden modificar parámetros espectrales para evitar el solapamiento de las frecuencias del canto y el ruido ambiental o limitarse a vocalizar en periodos de silencio alterando las tasas de canto. Incluso existe la posibilidad que las especies no alteren sus parámetros acústicos y en lugar de ello evitan los sitios con contaminación acústica como se observó en los estudios de Caorsi et al. (2017).
- Estudios complementarios en otras especies de la anurofauna local permitirán comprender integralmente el impacto de la contaminación sonora e identificar aquellas especies más susceptibles a este tipo de alteraciones.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer enormemente a mi director, mi guía y mentor, sin quien nada de esto hubiese sido posible, estuvo en cada salida de campo a pesar de los mosquitos, el calor y muchas veces con falta de agua. Me acompañó no solo en el campo sino también en el laboratorio y con cada consulta que surgía no importa la hora que sea. No me alcanzan las palabras para agradecer todo el apoyo que recibí. Espero seguir aprendiendo y trabajando juntos. También quiero agradecer el apoyo de mi familia que a pesar de que muchas veces no entendían lo que les contaba, me consultaban y permitían liberar su curiosidad con las preguntas que me hacían. No voy a dejar de mencionar también a mis amigos y compañeros fieles de cursada que me soportaron estos cinco años y más aún en estas últimas instancias en que las responsabilidades me quitaban un poco la paciencia. A mis amigos de toda la vida y los amigos más recientes que la vida me regaló en este mundo hermoso que la biología, que supieron acompañar y aconsejar en aquellos problemas que parecían no tener solución. Agradezco también a cada profe y profesional que supo darme una sugerencia y su punto de vista para sumar en mi formación. Así mismo, me gustaría agradecer a la profesora Beatriz Alvarez quien gentilmente nos permitió el acceso y el muestreo en la estancia San Pedro.

A la Dirección de Recursos Naturales y a la Dirección de Parques y Reservas de la Provincia de Corrientes por los permisos de investigación para realizar este trabajo en diferentes sitios de la provincia, incluido el Parque Provincial San Cayetano. Este plan se ejecutó a través de una beca de pregrado de la SGCYT UNNE y del proyecto "Estudios bioacústica de anfibios anuros del nordeste argentino" (PI 17F016, SGCYT-UNNE).

## BIBLIOGRAFÍA

- Barber, J.R.; Krooks K.R. & Fristrup, K.M. 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends Ecology Evolution* 25:180-189.
- Bee, M.A. & Swanson, E.M. 2007. Auditorymasking of anuran advertisement calls by road traffic noise. *Animal Behaviour* 74:1765-1776.
- Brumm, H. 2004. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology* 73:434-440.
- Buckstaff, K.C. 2004. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottle nose dolphins. *Marine Mammal Science* 20:709-725.
- Caorsi, V.Z.; Both, C.; Cechin, S.; Antunes, R. & Borges-Martins, M. 2017. Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. *PLoS ONE* 12(8):e0183342.
- Catchpole, C.K.; Slater, P.J. & Song, B. 1995. Biological themes and variations. New York, Cambridge University Press. 241p.
- Cunnington, G.M. & Fahrig, L. 2010. Plasticity in the vocalizations of anurans in response to traffic noise. *Acta Oecologica* 36:463-470.
- Cunnington, G.M. & Fahrig, L. 2013. Mate attraction by male anurans in the presence of traffic noise. *Animal Conservation* 16(3):275-285.

- Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, ND, Wikramanayake, E., ... y Saleem, M. (2017). Un enfoque basado en ecorregiones para proteger la mitad del reino terrestre. *Biociencia*, 67(6), 534-545.
- Engbrecht, N.J.; Hee Meyer, L.J.; Murphy, C.G.; Stiles, R.M.; Swan, J.W. & Lannoo, M.J. 2015. Upland calling behavior in Craw fish Frogs (*Lithobates areolatus*) and calling triggers caused by noise pollution. *Copeia* 103(4):1048-1057.
- Fellers, G.M. 1979. Aggression, territoriality, and mating behaviour in North American treefrogs. *Animal Behaviour* 27:107-119.
- Fernández, P.F. 2015. Análisis acústico comparado entre dos especies de *Dendropsophus* (Anura, Hylidae) del nordeste argentino. Trabajo Final de Graduación. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. UNNE. 25 pp.
- Halfwerk, W.; Hollemann, L.J.M.; Lessells, C.M. & Slabbekoorn, H. 2011. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology* 48:210-219.
- Hammer, O.; Harper, D.T.A. & Ryan P.D. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica* 4, 9.
- Kaiser, K. & Hammers, J.L. 2009. The effect of anthropogenic noise on male advertisement call rate in the neotropical treefrog, *Dendropsophus triangulum*. *Behaviour* 146:1053-1069.
- Köhler, J.; Jansen, M.; Rodríguez, A.; Kok, P.J.R.; Toledo, L.F.; Emmrich, M.; Glaw, F.; Haddad, C.F.B.; Rödel, M.O. & Vences, M. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* 4251(1):001-124.
- Kruger, D.J.D. & Du Preez, L.H. 2016. The effect of airplane noise on frogs: a case study on the Critically Endangered Pickers gill's reed frog (*Hyperolius pickersgilli*). *Ecological Research* 31(3):393-405.
- Lengagne, T. 2008. Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. *Biological Conservation* 141(8):2023-2031.
- Leon, E.; Peltzer, P.M.; Lorenzon, R.; Lajmanovich, R.C. & Beltzer, A.H. 2019. Effect of traffic noise on *Scinax nasicus* advertisement call (Amphibia, Anura). *Iheringia, Série Zoologia* 109: e2019007
- Narins, P.M. 1982. Effects of masking noise on evoked calling in the Puerto Rican coquí (Anura: Leptodactylidae). *Journal of Comparative Physiology* 147(4):439-446.
- Nelson, D. V.; Klinck, H.; Carbaugh-Rutland, A.; Mathis, C.L.; Morzillo, A.T. & Garcia, T.T. 2017. Calling at the highway: The spatio temporal constraint of road noise on pacific chorus frog communication. *Ecology and Evolution* 7(1):429-440.
- Parris, K.; Velik-Lord, M. & North, J. 2009. Frogs call at a higher pitch in traffic noise. *Ecology and Society* 14(1):25.
- Penna, M. & Hamilton-West, M.C. 2007. Susceptibility of evoked vocal responses to noise exposure in a frog of the temperate austral forest. *Animal Behaviour* 74:45-56.
- Penna, M., Pottstock, H. & Velasquez, N. 2005. Effect of natural and synthetic noise on evoked vocal responses in a frog of the temperate austral forest. *Animal Behaviour* 70:639e651.
- Rabin, L.A.; McCowan, B.; Hooper, S.L. & Owings, D.H. 2003. Anthropogenic noise and its effect on animal communication: An interface between comparative psychology and conservation biology. *International Journal of Comparative Psychology* 16:172-192.

- Read, J.; Jones, G. & Radford, A.N. 2014. Fitness costs as well as benefits are important when considering responses to anthropogenic noise. *Behavioral Ecology* 25:4-7.
- Roca, I.T.; Desrochers, L.; Giacomazzo, M.; Bertolo, A.; Bolduc, P.; Deschesnes, R.; Martins, C. A.; Rainville, V.; Rheault, G. & Proulx, R. 2016. Shifting song frequencies in response to anthropogenic noise: a meta-analysis on birds and anurans. *Behavioral Ecology* 27:1269-1274.
- Shen, JX., Xu, ZM. 2016. The Lombard effect in male ultrasonic frogs: Regulating antiphonal signal frequency and amplitude in noise. *Scientific Reports* 6: 27103.
- Sun, J.W.C. & Narins, P.A. 2005. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation* 121:419-427.
- Tennesen J.B.; Parks, S.E. & Langkilde, T. 2014. Traffic noise causes physiological stress and Impairs breeding migration behaviour in frogs. *Conservation Physiology* 2(1):cou032.
- Troïanowski, M.; Mondy, N.; Dumet, A.; Arcanjo, C. & Lengagne, T. 2017. Effects of traffic noise on treefrog stress levels, immunity and color signaling. *Conservation Biology* 31(5):1132- 1140.
- Vargas-Salinas, F. & Amézquita, A. 2013. Traffic noise correlates with calling time but not spatial distribution in the threatened poison frog *Andinobates bombetes*. *Behaviour*, 150(6): 569-584.
- Voellmy, I.; Purser, J.; Flynn, D.; Kennedy, P.; Simpson, S. & Andrew, R. 2014. Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms. *Animal Behaviour* 89:191-198.
- Witte, K.; Ryan, M.J.M. & Wilcztnski, W. 2001. Changes in the frequency structure of a mating call decrease its attractiveness to females in the cricket frog *Acris crepitans blanchardi*. *Ethology* 107:685-699.
- Zollinger, S.A. & Brumm, H. 2015. Why birds sing loud songs and why they sometimes don't. *Animal Behaviour* 105:289-295.
- Zaracho, V.H.; Céspedes, J.A.; Álvarez, B. B. & E.O. Lavilla, E. O. 2012. Guía de campo para la identificación de los anfibios de la provincia de Corrientes. Fundación Miguel Lillo, Publicación Especial. 181 pp.