

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
MODALIDAD ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR EL RUIDO ORIGINADO
EN LA RUTA NACIONAL 32 SOBRE LA ACÚSTICA AMBIENTAL DEL
PARQUE NACIONAL BRAULIO CARRILLO**

**Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de
Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en
Ingeniería en Gestión Ambiental**

SHERRYL VIVIANA CAMPOS MORALES

Heredia, Costa Rica

Febrero, 2022

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Ph.D. Vanessa Valerio Hernández
**Representante de la Facultad de Ciencias de la
Tierra y el Mar**

M.Sc. Melissa Blandón Naranjo
**Representante de la Dirección de la Escuela
de Ciencias Ambientales**

MAP. Karla Vetrani Chavarría
Tutora

MAP. Igor Zúñiga Garita
Lector

M.Sc. José Castro Solís
Lector

Sherryl Viviana Campos Morales
Postulante

Evaluación de la contaminación por el ruido originado en la Ruta Nacional 32 sobre la acústica ambiental del Parque Nacional Braulio Carrillo

Assessment of noise pollution originating from National Route 32 on the environmental acoustics of Braulio Carrillo National Park

Sherryl Viviana Campos-Morales¹

Resumen

[Introducción]: El ruido de origen antropogénico como estresor ambiental ha ganado interés en el campo de la ecología, debido a sus impactos sobre la vida silvestre. **[Objetivo]:** El objetivo de esta investigación en particular fue evaluar la contaminación por el ruido del tráfico rodado emitido por la Ruta Nacional 32 sobre la acústica ambiental del Parque Nacional Braulio Carrillo, y desarrollar una simulación acústica considerando los cambios en el flujo vehicular producidos por el proyecto de infraestructura vial para la ampliación de la carretera nacional adyacente al parque. **[Metodología]:** Se caracterizaron los niveles de ruido ambiental en dos sitios: El Ceibo, sitio blanco y Quebrada González, sitio atravesado por la carretera; además, se determinó el flujo vehicular entre semana y fines de semana. Así mismo, se elaboró un mapa acústico del ruido medido, y otro del ruido proyectado tras la ampliación. **[Resultados]:** Quebrada González resultó tener niveles de ruido superiores en relación con el sitio blanco, alcanzando una diferencia promedio de 10.2 dBA. El flujo vehicular está principalmente compuesto por vehículos livianos, sin embargo, la cantidad de vehículos pesados fue más constante independientemente del periodo de la semana. **[Conclusiones]:** En general, los resultados indican que la presencia del ruido por tráfico rodado es un contaminante de la acústica natural del área silvestre protegida objeto de estudio. Situación que refleja el deterioro de la calidad y la fragmentación del hábitat desde una perspectiva de paisaje sonoro, cuyas afectaciones pueden abarcar cambios a nivel fisiológico, reproductivo, etológico y ecológico en las especies silvestres.

Palabras clave: áreas silvestres protegidas; contaminación acústica; Costa Rica; paisaje sonoro; ruido antropogénico; ruido de tráfico rodado.

Abstract

[Introduction]: Anthropogenic noise as an environmental stressor has gained interest in the field of ecology due to its impacts on wildlife. **[Objective]:** The objective of this investigation was to evaluate the noise pollution from road traffic emitted by National Route 32 on the environmental acoustics of the Braulio Carrillo National Park, and to develop an acoustic simulation considering the changes in the vehicular flow produced by the infrastructure road project for the expansion of the national highway bordering the park. **[Methodology]:** Environmental noise levels were characterized at two sites: El Ceibo, a white site, and Quebrada González, a site crossed by the road; and the vehicular flow was determined during the week and weekends. An acoustic map was made of the measured noise and another of the projected noise after enlargement. **[Results]:** Quebrada González turned out to have higher noise levels in relation to the target site, reaching an

¹ Ingeniera en Gestión Ambiental, investigadora del Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME), académica de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica, sherryl.campos.morales@una.cr; <https://orcid.org/0000-0002-3852-9490>

average difference of 10.2 dBA. The traffic flow is mainly made up of light vehicles; however, the number of heavy vehicles was more constant regardless of the period of the week. **[Conclusions]:** In general, the results indicate that the presence of road traffic noise is a pollutant of the natural acoustics of the protected wild area under study. Situation that reflects the deterioration of the quality and fragmentation of the habitat from a soundscape perspective, whose effects can include changes at the physiological, reproductive, ethological and ecological levels in wild species.

Keywords: anthropogenic noise; Costa Rica; noise pollution; protected wild areas; road traffic noise; soundscape.

1. Introducción

La acústica ambiental, conocida también como paisaje sonoro, ha sido utilizada para describir la relación entre el paisaje terrestre y la composición de su sonido (Pijanowski et al., 2011). Se compone de tres tipos de sonidos: geofonías, producidas por agentes naturales no biológicos como el viento; biofonías, resultantes de seres vivos como cantos; y antropofonías, originadas por objetos y actividades del ser humano (Farina, 2014). Estos últimos, en particular, son precursores del ruido ambiental, que se define como un sonido no deseado emitido al ambiente por actividades antropogénicas (Maijala et al., 2018).

El concepto de contaminación acústica está estrechamente relacionado al ruido ambiental como contaminante. Este hecho se refleja en el contexto reglamentario costarricense, el cual establece el término contaminación por ruido, entendiéndose como cualquier emisión de sonido que afecte adversamente la salud de los seres humanos y excede los límites máximos permitidos (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2015, Decreto 39428-S). En el ámbito internacional la definición es más amplia por cuanto no solamente considera la afectación sobre las personas, sino que también incluye al medio ambiente como receptor del impacto. La Ley del Ruido española concibe la contaminación acústica como la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente (Jefatura del Estado, 2003, Ley 37/2003).

El tráfico rodado constituye la principal fuente de ruido ambiental, ya que el acelerado crecimiento urbano ha inducido el crecimiento de la flota vehicular mundial y la expansión de infraestructura vial, provocando un importante problema de contaminación acústica (Chew & Wu, 2016; Ow & Ghosh, 2017). Pese a que el transporte terrestre es fundamental tanto para la movilidad de personas como de mercancías, también representa la principal causa de pérdida de biodiversidad y fragmentación del hábitat en el mundo (Benítez et al., 2010; Bruschi et al., 2015). De esta forma, el ruido antropogénico constituye un contaminante mundial de ambientes naturales que afecta a poblaciones y ecosistemas de vida silvestre.

La alteración de la dinámica natural acústica de un área acarrea efectos directos e indirectos a nivel fisiológico, reproductivo, etológico y ecológico en las especies silvestres (Iglesias, 2014). Dichas afectaciones envuelven cambios en patrones temporales de cantos, desplazamiento y forrajeo; variaciones en las distribuciones o movimientos espaciales; abandono de zonas ruidosas; disminución en la eficiencia de búsqueda de alimentos; inhibición en la detección de depredadores y llamados de alarma; cambios en la atracción sexual y defensa territorial; pérdida de mecanismos

de cortejo y apareamiento; perturbaciones en el cuidado parental y dificultad para mantener los grupos sociales, debido a la reducción de intercambios de información estratégica (Farina, 2014; Francis & Barber, 2013; Slabbekoorn & Ripmeester, 2007).

Los impactos ecológicos de las carreteras y el tráfico vehicular son universales, en el sentido en que se presentan en todos los sitios expuestos, sin embargo, son más graves en bosques tropicales. Esto se debe a que son ecosistemas con una arquitectura compleja con características únicas de humedad y oscuridad, así como un microclima estable, por lo que albergan especies con un alto grado de especialización. Además, por lo general, se ubican en países en vías de desarrollo, los cuales experimentan un continuo crecimiento de la población y un rápido desarrollo económico que provocan una explotación intensa de los recursos y una expansión de vías de comunicación terrestres, lo cual, generalmente, ocurre con poca o nula planificación (Laurance et al., 2009; Pohlman et al., 2009).

Costa Rica no es ajena a esta problemática, ya que un 41.2 % de las áreas protegidas están bajo influencia directa o indirecta de las carreteras. Una suma total de 532.52 km de camino se encuentra dentro de la *zona de efecto de la carretera*, perturbando 70 áreas de protección que abarcan parques nacionales, refugios de vida silvestre y zonas protegidas (Arévalo & Blau, 2017). Estudios en el Parque Nacional Carara y en el Parque Nacional Santa Rosa determinaron como fuentes de ruido antropogénico el bullicio de los visitantes, el tráfico aéreo y el tráfico vehicular (Tenez, 2016). Para el caso particular de los vehículos, el ruido fue mayor en las carreteras con uso vehicular más alto, aunque también hubo influencia por el tipo de vehículo (Arévalo & Blau, 2017). Además, se encontró que el nivel de ruido ambiental disminuye conforme aumenta la distancia a las carreteras, y que tanto la abundancia como la riqueza de aves decrece significativamente con el incremento del ruido (Arévalo, 2009; Arévalo 2013; Arévalo & Newhard, 2011).

El Parque Nacional Braulio Carrillo (PNBC), forma parte de las áreas afectadas, ya que está sometida a la influencia directa de la Ruta Nacional 32 que conforma una de las vías terrestres primarias costarricenses. Desde el punto de vista de biodiversidad, el PNBC se caracteriza por tres aspectos fundamentales. El primero es su amplia extensión, 47 689 ha, por lo que protege muchas especies biológicas y les proporciona un área adecuada para mantener poblaciones viables a largo plazo. El segundo es el gradiente altitudinal que posee, el cual va de los 32 msnm hasta los 2 906 msnm, propiciando gran cantidad de fauna. El tercero es la topografía abrupta de la zona dificultando el acceso para extraer flora o fauna y, además, produciendo quebradas y ríos de corriente rápida que conforman el hábitat ideal para algunas especies. Un aspecto complementario es la vegetación característica de un bosque siempre verde de gran densidad y complejidad florística, en su mayoría bosque primario, que da paso a una alta diversidad de plantas que favorece el desarrollo de una alta diversidad animal (Área de Conservación Cordillera Volcánica Central [ACCVC] & Onca Natural, 2005).

Asimismo, el PNBC alberga una alta diversidad de especies constituida por 550 aves, 164 mamíferos, 123 reptiles y 95 anfibios (Área de Conservación Cordillera Volcánica Central [ACCVC] & Onca Natural, 2005), que a la vez forman parte del paisaje sonoro. Esto deja en evidencia la relevancia de los sonidos biológicos, denominadas biofonías, para el ecosistema y los propios visitantes. En muchas ocasiones, dichos sonidos están siendo enmascarados por la influencia del ruido de actividades antrópicas, incluido el transporte terrestre, y algunas veces la

contaminación es tal que los sonidos naturales desaparecen o no consiguen manifestarse (Hernández et al., 2013).

De acuerdo con lo anterior, pese a que las áreas protegidas del país pueden ser consideradas como zonas ecológicamente vulnerables, hay evidencia de que están siendo sometidas permanentemente a la contaminación acústica. De este modo, se reducen drásticamente los espacios libres de ruido antropogénico y las oportunidades de disfrutar sitios tranquilos en medio de la naturaleza, a la vez que se atenta contra la salud de los ecosistemas (Iglesias, 2014). En respuesta a esta situación, los objetivos de esta investigación son evaluar la contaminación por el ruido originado en la Ruta Nacional 32 sobre la dinámica natural de la acústica ambiental del Parque Nacional Braulio Carrillo; y desarrollar una simulación acústica considerando un futuro escenario de ruido de tráfico tras la ampliación de la carretera.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El Parque Nacional Braulio Carrillo (PNBC) se encuentra en la Cordillera Volcánica Central, entre los macizos de los volcanes Poás e Irazú. Se extiende desde el Alto de la Palma al norte del cantón de Moravia, hasta la Zona Protectora La Selva en Puerto Viejo de Sarapiquí. La Ruta Nacional 32, comúnmente llamada carretera Braulio Carrillo, es una vía de dos carriles que atraviesa el parque en una distancia de 27 km (Área de Conservación Cordillera Volcánica Central [ACCVC] & Onca Natural, 2005). Desde el 2017 se iniciaron obras de construcción del proyecto de ampliación de 107.2 km de la carretera a cuatro carriles, que van desde el cruce de Río Frío hasta Limón Centro, y cuya fecha de finalización está prevista para mayo de 2022 (Consejo Nacional de Vialidad [CONAVI], 2021a, 2021b). Pese a que el trayecto que recorre al Parque Nacional no será ampliado, precisamente por las restricciones legales y la topografía del sitio (Herrera, 2014), la ampliación necesariamente inducirá un aumento del flujo vehicular.

2.2 Sitios de muestreo

La selección de los sitios de muestreo se realizó considerando principalmente la proximidad a la carretera, así como las facilidades de acceso proporcionadas por la administración del área silvestre protegida. Se establecieron dos sitios de muestreo: el primero con exposición directa al ruido antropogénico originado en la Ruta Nacional 32 y, por el contrario, el segundo libre de cualquier exposición al tráfico vehicular. Lo anterior, con el fin de realizar una comparación entre la acústica ambiental del PNBC con y sin influencia del ruido por tráfico rodado. A continuación, se detallan los sitios seleccionados:

2.2.1 Quebrada González

Se encuentra ubicada en la provincia de Limón, el cantón de Pococí y el distrito de Guápiles, en las coordenadas geográficas N 10°9'42.72" y W 83°56'16.36". Es una zona de uso público localizada a 2 km al sur del puente sobre el río Sucio, justo 1 km antes del límite norte del área protegida. Este sector es atravesado por la Ruta Nacional 32, razón por la cual se seleccionó como sitio de muestreo para evaluar el ruido antropogénico proveniente de la carretera (**Figura 1**).

2.2.2 El Ceibo

Se localiza en la provincia de Heredia, el cantón de Sarapiquí y el distrito La Virgen, en las coordenadas geográficas N 10°19'12.17" y W 84°4'27.40". Es una zona destinada únicamente a la investigación y conservación. Está ubicada, aproximadamente, a 23 km de la Ruta Nacional 32, por lo que se consideró el sitio blanco del estudio para determinar las condiciones de la acústica ambiental del PNBC sin perturbación del tráfico rodado (**Figura 1**).

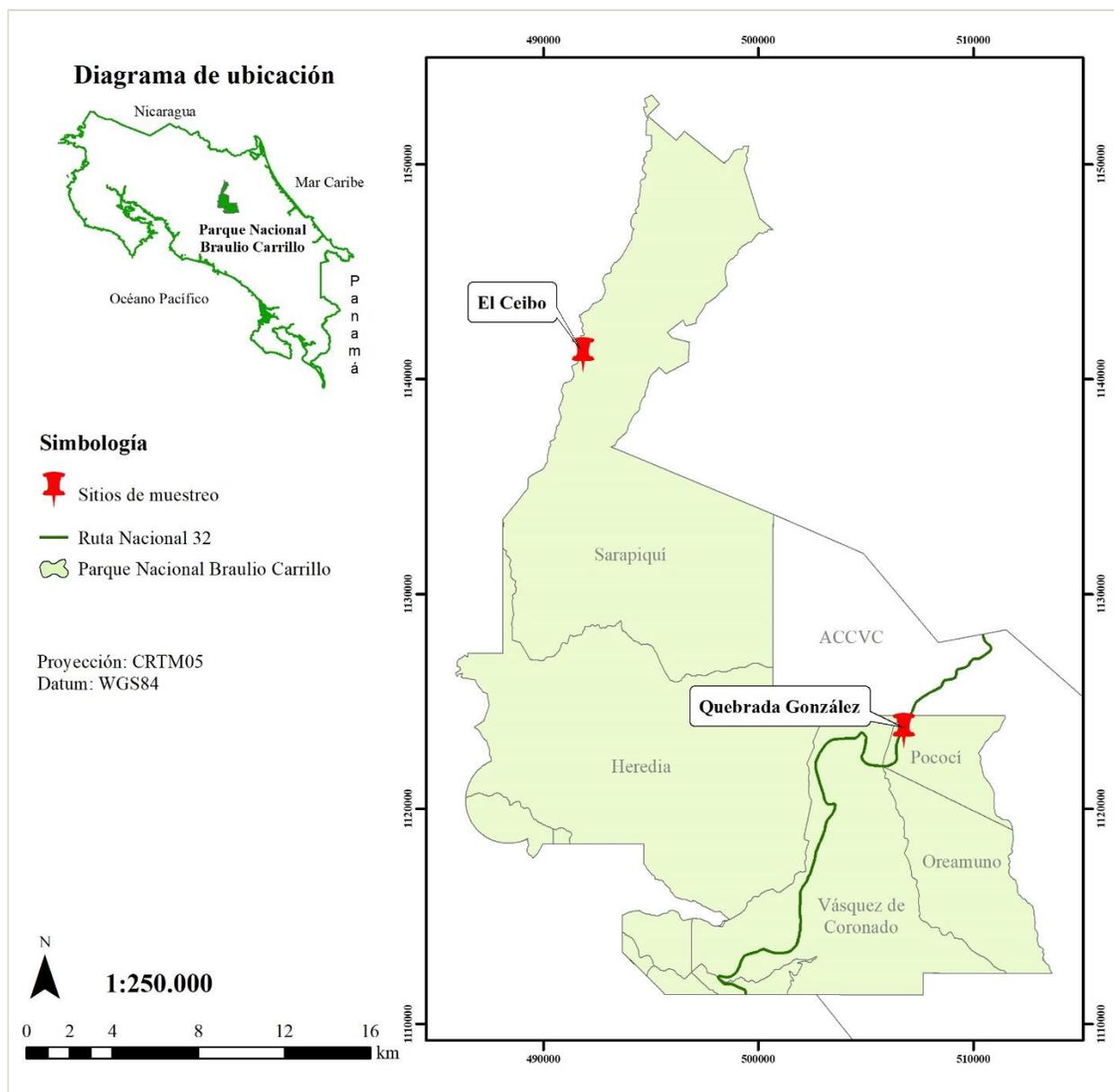


Figura 1. Sitios de muestreo del ruido ambiental en el Parque Nacional Braulio Carrillo.

Figure 1. Environmental noise sampling sites in Braulio Carrillo National Park.

2.3 Modelo de evaluación de la contaminación por ruido

Para evaluar la contaminación del ruido del tráfico rodado sobre la acústica ambiental del PNBC, se desarrolló un modelo de medición que incorpora las siguientes variables:

2.3.1 Ruido ambiental

El muestreo de ruido ambiental se realizó utilizando 5 dosímetros EXTECH modelo 407355 clase 2 debidamente calibrados, incluyendo el micrófono, la pantalla antiviento y el cable, conforme a la Norma IEC 61672-1:2013 (Comisión Electrotécnica Internacional, 2013). Los instrumentos se colocaron dentro de una caja plástica con tapa, con el fin de evitar la exposición a lluvia y facilitar la colocación en campo. Posteriormente, los equipos fueron colocados como estaciones de monitoreo fijas instaladas en árboles a una altura de 1,5 m aproximadamente, y orientadas hacia la carretera (**Figura 2**). Además, para asegurar su correcto funcionamiento, fue necesario utilizar baterías AAA de uso común y cambiarlas cada 24 horas.



Figura 2. Equipos de monitoreo de ruido ambiental instalados en el sitio Quebrada González.

Figure 2. Environmental noise monitoring equipment installed at the Quebrada González site.

Los equipos de medición fueron configurados previamente con los siguientes parámetros adaptados de la normativa nacional vigente en materia de ruido (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2015, Decreto 39428-S):

- Tiempo criterio: 8 horas
- Nivel criterio: 80 dB(A)
- Nivel umbral: 70 dB(A)
- Razón de cambio: 3
- Ponderación temporal: Fast

En cada sitio de muestreo se establecieron 5 puntos distanciados entre sí cada 200 m, aproximadamente, con el propósito de evitar el traslape de los datos sonoros entre las estaciones de monitoreo (Pieretti et al., 2011). En Quebrada González, los puntos de muestreo se distribuyeron sobre un transecto de los senderos, mientras que en El Ceibo se ubicaron al interior del área protegida.

En la medida de las posibilidades, cada uno de los muestreos se realizó durante tres días, y se llevó a cabo de forma continua durante 24 horas, aproximadamente; a fin de evaluar el ruido producido durante la mañana, tarde y noche; de esta manera, se obtiene una medición de dosis de ruido independiente para cada día. Para el caso de Quebrada González, se realizaron cuatro visitas, dos durante los fines de semana entre el 13 y 15 de abril y entre el 17 y 19 de agosto del 2018; y dos entre semana, el 24 y 25 octubre y del 19 al 21 de noviembre del 2018. Por su parte, en El Ceibo se muestreó en dos ocasiones entre el 17 y 19 de noviembre del 2017, y el 13 de mayo del 2018.

Al inicio y final de cada medición de ruido se tomaron condiciones de temperatura y presión atmosférica, y se verificaron los dosímetros mediante un calibrador acústico EXTECH modelo 407744. Lo anterior como parte de las variables que aportan incertidumbre a la medición. Cabe destacar que, en caso de que se presentaran condiciones meteorológicas adversas como lluvia, rayería u otras que afectaran el correcto funcionamiento de los equipos, se procedió a descartar dichas mediciones.

2.3.2 Flujo vehicular

La estimación del flujo vehicular se realizó mediante el método de aforo manual, el cual consiste en contar la cantidad de vehículos que transitan por un punto de la carretera en un tiempo determinado (González, 2001). Esta actividad únicamente se ejecutó en Quebrada González, pues es donde hay presencia de tráfico rodado con el propósito de analizar la relación entre la cantidad de vehículos diarios en promedio, y los niveles de ruido obtenidos. Las mediciones se tomaron durante los períodos de máxima demanda de la ruta, los cuales normalmente se encuentran entre 7 a.m. y 10 a.m. y 4 p.m. y 7 p.m. El muestreo se realizó entre el 13 y 15 de abril, 24 y 25 de octubre y del 19 al 21 de noviembre del 2018, considerando que no coincidieran con días festivos ni períodos vacacionales.

2.4 Caracterización del ruido ambiental

2.4.1 Procesamiento de datos acústicos

La estimación del ruido ambiental por cada punto de muestreo se realizó mediante una hoja de cálculo en Excel programada para determinar los valores de nivel de presión sonora continuo equivalente a partir de la dosis de ruido, con su respectiva incertidumbre. Posteriormente, se estimó el ruido ambiental promedio por sitio evaluado.

La dosis de ruido evalúa largos períodos de exposición a ruido indicando la energía acústica, en porcentaje, recibida durante un tiempo de exposición determinado (Bovea et al., 2011; Sánchez et al., 2014), y viene dada por la **Ecuación 1**.

$$D = \frac{T_e}{T_p} \quad (1)$$

Donde:

- D es la dosis de ruido en porcentaje.
- T_e es el tiempo de exposición en horas, interpretado como el tiempo de medición.
- T_p es el tiempo permitido en horas.

Partiendo de la **Ecuación 1** se obtuvo el tiempo permitido y se procedió a calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente utilizando la **Ecuación 2**. Este indicador representa la cantidad de energía sónica producida por el ambiente durante un tiempo específico y luego produce un valor promedio (Farina, 2014).

$$T_p = T_c \times 2^{\left(\frac{L_c - L_{eq}}{q}\right)} \quad (2)$$

Donde:

- T_p es el tiempo permitido en horas.
- T_c es el tiempo criterio de exposición en horas, de acuerdo con la legislación.
- L_c es el nivel de presión sonora continuo equivalente criterio en dB, de acuerdo con la legislación.
- L_{eq} es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido en dB.
- q es la razón de cambio de acuerdo con la legislación.

Las variables por considerar para el cálculo de la incertidumbre en particular son la calibración acústica, la resolución, el calibrador acústico, la temperatura, la presión y la caracterización climática. El modelo de incertidumbre de la medición se construyó en concordancia con la Norma Internacional ISO 1996-2:2017 (Organización Internacional de Estandarización, 2017).

2.4.2 Análisis estadístico

La contaminación del ruido originado en la Ruta Nacional 32 sobre la acústica ambiental del PNBC se determinó comparando los resultados de ruido ambiental de Quebrada González en contraste con los de El Ceibo, recordando que este último representa las condiciones acústicas naturales del área protegida. Para esto, se aplicó una prueba t suponiendo varianzas desiguales, considerando todos los niveles de presión sonora continuos equivalentes obtenidos por sitio, y así determinar la existencia o no de diferencias de ruido entre sitios. Respecto al tráfico vehicular, utilizando estadística descriptiva, se compararon las diferencias entre volúmenes de vehículos en relación con el tipo de categoría de carga del vehículo y el período de la semana muestreado.

2.5 Modelación acústica

2.5.1 Mapa acústico

Se elaboró un mapa acústico a partir de los resultados obtenidos en el sector de Quebrada González, utilizando la aplicación ArcMap del *software* especializado ArcGis 10.5, el cual permite la representación cartográfica, la edición, el análisis y la administración de los datos de ruido ambiental. La generación del mapa utiliza los valores de nivel de presión sonora continuo equivalente por punto de muestreo y su respectiva ubicación geográfica. Esta información se

asoció con un identificador único en una hoja de cálculo de Excel, que a la vez se utilizó para la creación de una capa de puntos en ArcGis con el contenido espacial del ruido ambiental.

La creación de la superficie continua de la acústica ambiental del sitio se desarrolló a partir de la herramienta de interpolación distancia inversa ponderada (IDW), que determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra (Esri, 2018). Al respecto, es importante mencionar que, aunque es un método simple y rápido, cuando la distribución de los puntos de la muestra es desigual tiende a disminuir la calidad del resultado y a producir patrones conocidos como “ojos de buey” alrededor de los puntos muestreados (Dumitri, 2013). Una vez obtenida la capa de superficie, se combinó con diversas capas temáticas disponibles en el *Atlas de Costa Rica 2014* (Ortiz, 2014) que incluyen áreas silvestres protegidas (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2008, citado por Ortiz, 2014), ríos (Geotecnologías S.A., s.f., citado por Ortiz, 2014), cantones (Geotecnologías S.A., s.f., citado por Ortiz, 2014) y red de caminos (Redcamino2014crtm05, 2004, citado por Ortiz, 2014) para elaborar el mapa acústico final.

2.5.2 Simulación acústica

La simulación acústica del ruido antropogénico resultante del aumento del tráfico vehicular asociado a la ampliación de la Ruta Nacional 32 se elaboró en el *software* CadnaA de DataKustik GmbH, el cual permite el cálculo y la predicción de la contaminación por ruido en carreteras (DataKustik GmbH, 2019). Se eligió el método de cálculo de ruido de tráfico rodado francés NMPB-2008, cuya determinación de la emisión de ruido está en función de la velocidad de tráfico, tanto de carga liviana como pesada, y de sus respectivos caudales de vehículos por hora (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements [Sétra], 2009). La información de estas variables se estimó a partir de las proyecciones de tráfico promedio diario determinadas en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de ampliación de la carretera, presentado ante la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, en el que se asumió una tasa de crecimiento de 5 % anual (CDG Environmental Advisors, 2016).

3. Resultados

3.1 Ruido ambiental

Quebrada González presenta niveles de ruido ambiental promedio significativamente más altos que El Ceibo ($t = -4.8$, $P = 1.7e-2$). Para el sitio blanco, se obtuvo un valor de 63.0 ± 13.6 dBA, mientras que, para el sitio atravesado por la carretera, fue de 73.2 ± 12.6 dBA (**Figura 3**). La diferencia promedio fue de 10.2 dBA y la máxima de 36.4 dBA (**Figura 3**).

En Quebrada González se determinó un ruido ambiental promedio diario de 73.1 ± 8.9 dBA, que alcanza una diferencia significativa de hasta 5.2 dBA entre días ($t = -3.1$, $P = 1.3e-2$). Este hecho se relaciona con el periodo de la semana en que se tomó la medición, pues se observa un mayor nivel de presión sonora continuo equivalente en los días entre semana en comparación a los fines de semana, cuyo promedio diario fue de 74.2 ± 8.9 dBA y 71.8 ± 7.9 dBA, respectivamente. Sin embargo, hay un comportamiento de la variable mayormente diverso durante los fines de semana (**Figura 4**).

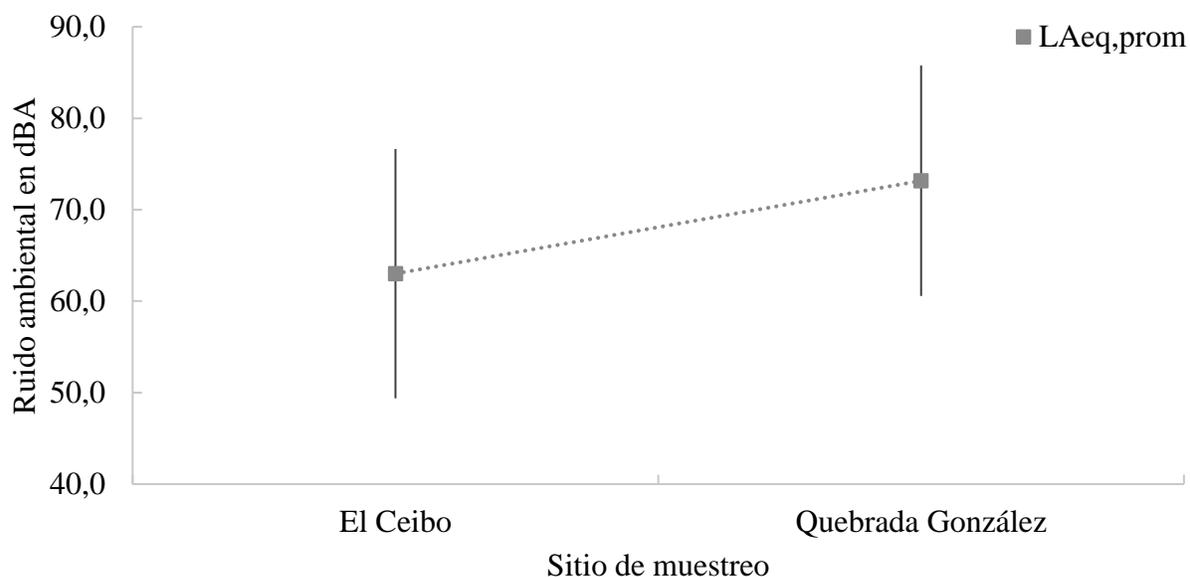


Figura 3. Nivel de presión sonora continuo equivalente según el sitio de muestreo en el Parque Nacional Braulio Carrillo entre 2017 y 2018.

Figure 3. Equivalent continuous sound pressure level according to the sampling site in the Braulio Carrillo National Park between 2017 and 2018

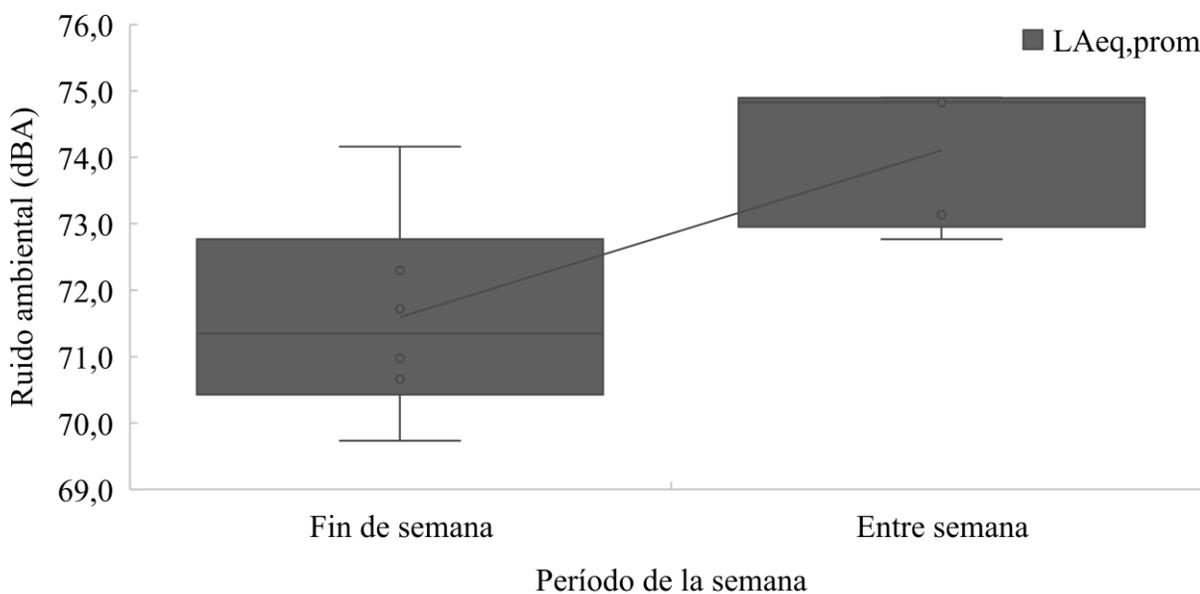


Figura 4. Nivel de presión sonora continuo equivalente diario según el período de la semana en el sitio Quebrada González del Parque Nacional Braulio Carrillo en 2018.

Figure 4. Daily equivalent continuous sound pressure level according to the period of the week at the Quebrada González site of the Braulio Carrillo National Park in 2018.

3.2 Flujo vehicular

El flujo vehicular promedio fue de 717 vehículos por hora, de los cuales fue significativamente mayor la cantidad de vehículos de carga liviana que los de carga pesada ($t = 5.9$, $P = 3.5e-5$). Se observa mayor variabilidad en los primeros, determinando incluso un dato atípico de 1017 automotores por hora (**Figura 5**).

El número de vehículos total, de carga liviana y de carga pesada, que transitan por hora no varía en función del período de la semana ($t = 2.6$, $P = 3.0e-2$; $t = 2.8$, $P = 4.9e-1$; $t = 2.8$, $P = 3.3e-2$). Sin embargo, tanto los fines de semana como los días entre semana, el flujo vehicular liviano supera al pesado ($t = 2.6$, $P = 3.0e-3$; $t = 2.3$, $P = 5.2e-6$); aunque se observa un comportamiento de variabilidad más constante en el segundo (carga pesada) que en el primero (carga liviana) (**Figura 6**).

Se analizó el comportamiento del ruido ambiental diario con respecto al flujo vehicular por hora y, contrario a lo que se esperaba, en términos generales se encontró una correlación negativa moderada a fuerte ($r = -0.8$). No obstante, esta tendencia está mayormente influenciada por la cantidad de automotores de carga liviana ($r = -0.8$), pues la situación contraria ocurre respecto a la carga pesada, donde hay una correlación positiva muy débil ($r = 0.2$). Pese a que la muestra con mayor flujo vehicular en particular fue en la que se presentó un menor nivel de presión sonora continuo equivalente, concuerda en ser el día con menor número de vehículos pesados por hora (**Figura 7**).

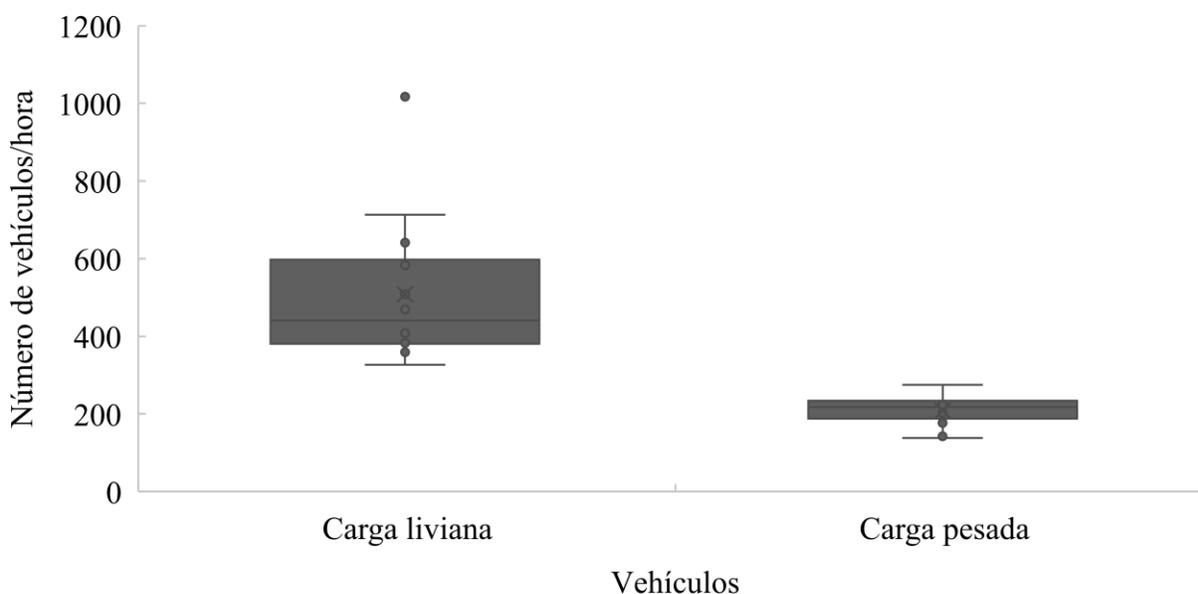


Figura 5. Flujo vehicular diario según el tipo de carga de los vehículos en el sitio Quebrada González del Parque Nacional Braulio Carrillo en 2018.

Figure 5. Daily vehicular flow according to the type of load of the vehicles in the Quebrada González site of the Braulio Carrillo National Park in 2018.

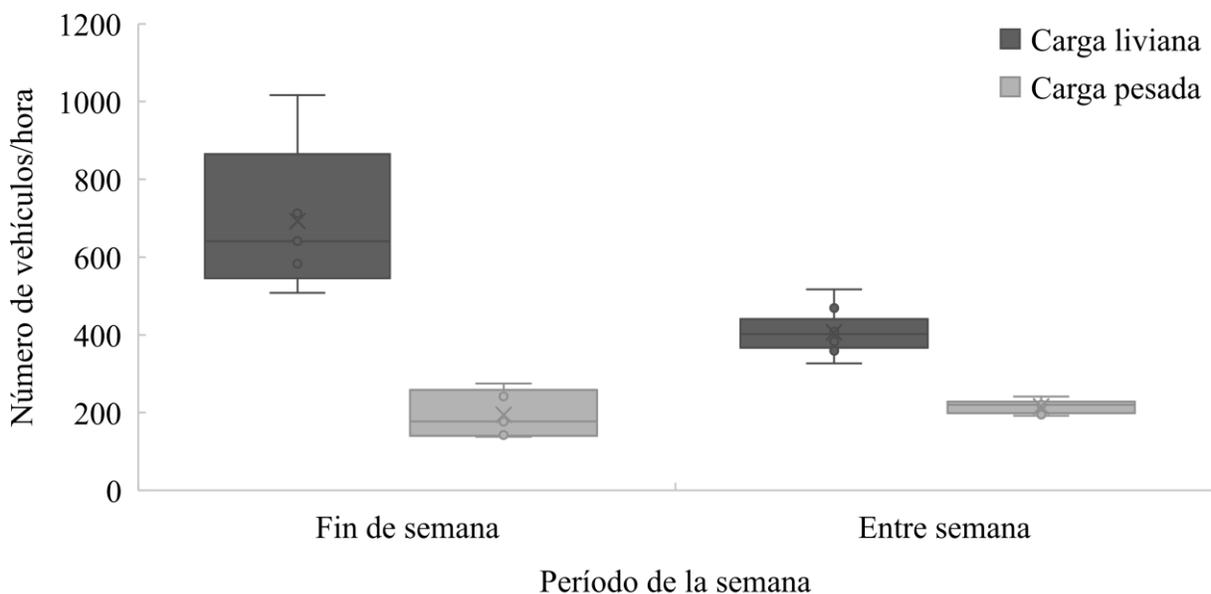


Figura 6. Flujo vehicular promedio según el período de la semana en el sitio Quebrada González del Parque Nacional Braulio Carrillo en 2018.

Figure 6. Average vehicular flow according to the period of the week in the Quebrada González site of the Braulio Carrillo National Park in 2018.

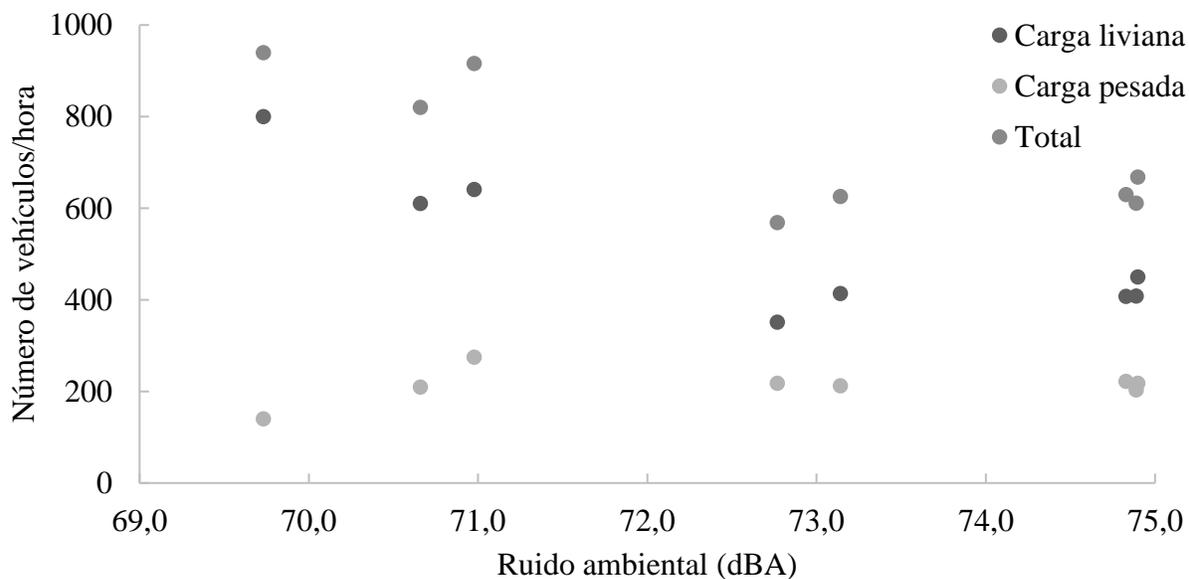


Figura 7. Nivel de presión sonora continuo equivalente diario con respecto al flujo vehicular en el sitio Quebrada González del Parque Nacional Braulio Carrillo en 2018.

Figure 7. Daily equivalent continuous sound pressure level with respect to vehicular flow in the Quebrada González site of the Braulio Carrillo National Park in 2018.

3.3 Mapa acústico

La interpolación del promedio del nivel de presión sonora continuo equivalente diario evidencia que, efectivamente, los puntos más cercanos a la carretera son los que presentan un mayor nivel de ruido ambiental con valores por encima de los 72.0 dBA. Por su parte, los puntos más distanciados presentan valores entre 65.4 y 69.0 dBA.

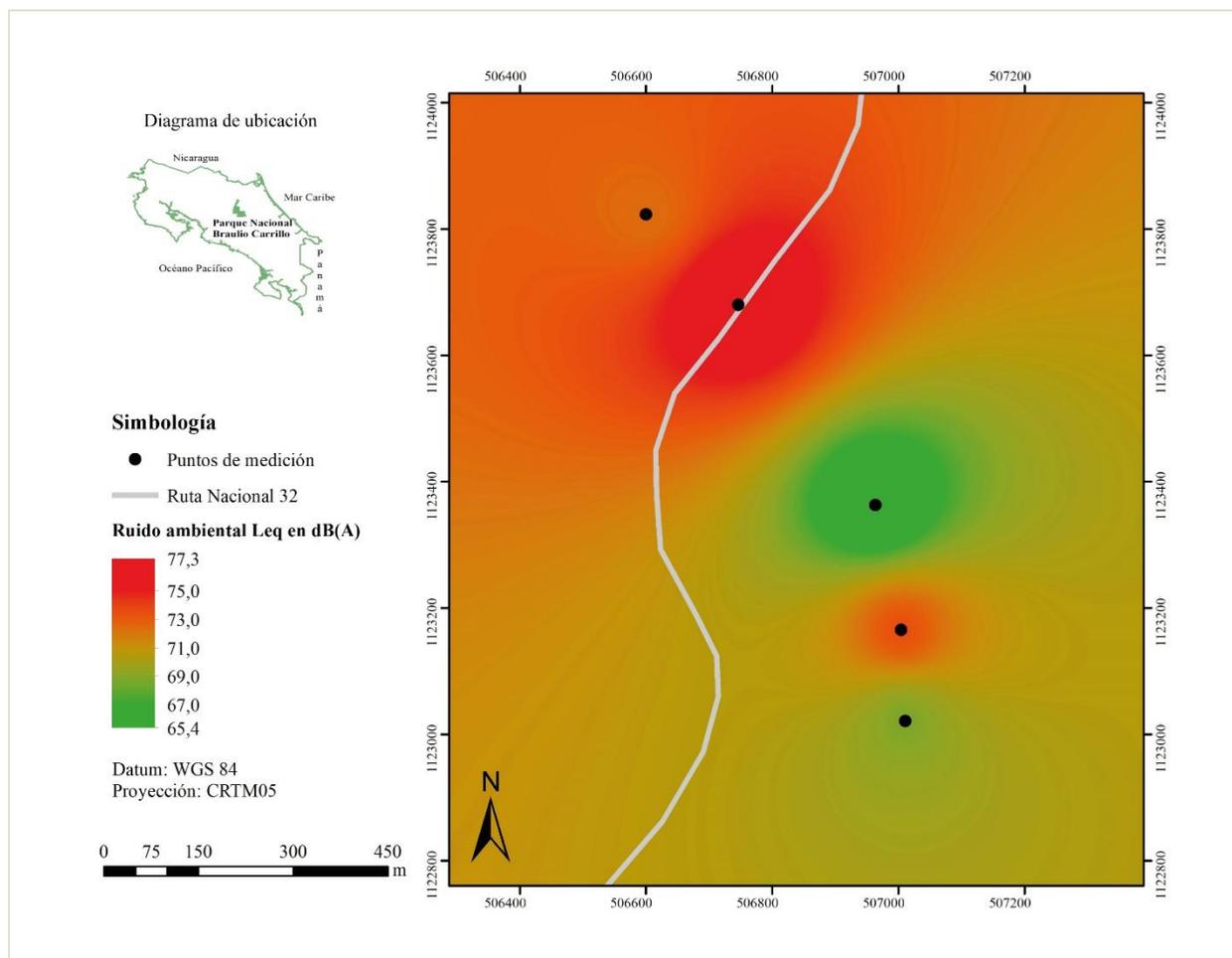


Figura 8. Mapa acústico del ruido ambiental en el sitio Quebrada González del Parque Nacional Braulio Carrillo en 2018.

Figure 8. Acoustic map of environmental noise in the Quebrada González site of the Braulio Carrillo National Park in 2018.

Fuente: Elaboración propia con datos de mediciones en campo, Atlas de Costa Rica 2014 (SINAC, 2008, citado por Ortiz, 2014; Geotecnologías S.A. s.f., citado por Ortiz, 2014; Redcamino2014crtm05, 2004, citado por Ortiz, 2014).

3.4 Simulación acústica

La proyección del nivel de presión sonora continuo equivalente diario para el 2025 (**Figura 9**) muestra un comportamiento similar al determinado en el mapa acústico elaborado para el 2018 (**Figura 8**). Se estiman niveles de ruido ambiental entre 71.4 dBA y 76.6 dBA en el área inmediata a la carretera, y, conforme aumenta la distancia con esta vía, disminuye hasta los 55.0 dBA, aproximadamente.

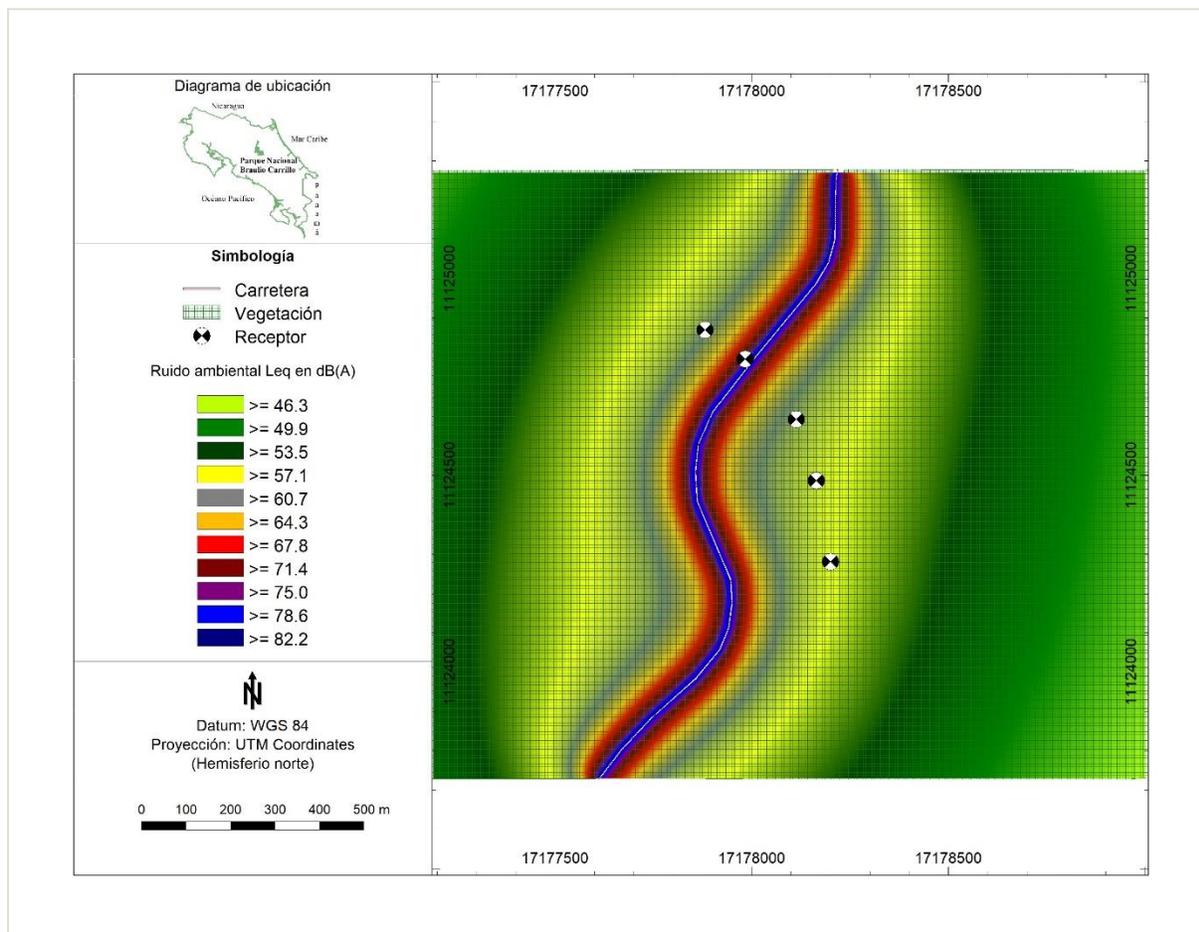


Figura 9. Mapa acústico del ruido ambiental proyectado en el sitio Quebrada González del Parque Nacional Braulio Carrillo en 2025.

Figure 9. Acoustic map of environmental noise projected in the Quebrada González site of the Braulio Carrillo National Park in 2025.

Fuente: elaboración propia con datos de CDG Environmental Advisors (2016).

4. Discusión

Se comprobó la hipótesis de que el sitio adyacente a la carretera presenta mayores niveles de ruido que el sitio blanco, cuya acústica ambiental no ha sido influenciada por tráfico rodado. Esto responde a que la infraestructura vial y su uso contribuye en gran manera a la disminución tanto en la cantidad como en la calidad de un hábitat natural (Bruschi, Astiaso, Gugliermetti, & Cumo,

2015), que, en este caso, ya ha sido reconocido por el Estado como espacio de importancia natural para la protección y conservación de su biodiversidad, al ser declarado área silvestre protegida bajo la categoría de manejo de Parque Nacional. El análisis de investigaciones realizadas entre 1990 y 2013 encontró que los efectos del ruido en la vida silvestre comienzan a manifestarse a partir de 40 dBA. Para el caso del ruido antropogénico asociado al transporte las afectaciones pueden abarcar: cambios en los componentes de frecuencia y la sincronización de las vocalizaciones; aumento de la amplitud de vocalizaciones; preferencia por alojarse en áreas más tranquilas; reducción del éxito reproductivo; cambios en la fisiología y el desarrollo; cambios en abundancia, riqueza de especies, distribución y ocupación; e interrupción de la búsqueda de alimento (Graeme et al., 2016).

Pese a que no hay límites de ruido permisibles claramente definidos para espacios naturales, desde un punto de vista de salud humana la Organización Mundial de la Salud ha recomendado mantener los niveles de ruido producto del tráfico vehicular por debajo de 53 dB en el día y 45 dB en la noche (Organización Mundial de la Salud, 2018). Considerando esto, aún el nivel de ruido promedio en El Ceibo supera lo esperado, lo cual podría estar relacionado a una mayor presencia de geofonías y biofonías en los puntos de muestreo, incluyendo una permanente influencia de las chicharras cuyo sonido va desde los 56,4 dB hasta los 80 dB (Bao et al., 2011; Romero et al., 2008).

En el ámbito nacional el Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido establece una clasificación por zonas receptoras que lamentablemente no incluye espacios naturales tales como áreas silvestres protegidas; por lo tanto, se detecta un vacío legal en cuanto a la protección contra la contaminación acústica de estos espacios. Sin embargo, al observar los límites máximos permisibles de ruido establecidos en el Reglamento, la situación encontrada en Quebrada González es crítica, pues el nivel de ruido ambiental promedio está por encima del valor permitido en cualquiera de las zonas receptoras, cuyo máximo asciende a los 70 dBA durante el día en zonas comerciales, industriales, agrícolas o pecuarias, y mixtas (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2015, Decreto 39428-S).

La Ruta Nacional 32 es una de las vías más importantes para la economía costarricense, pues comunica al Valle Central con la región del Caribe y viceversa, ocasionando que por ella transite entre 65 % y 80 % de las exportaciones nacionales, y de 10 000 a 13 000 vehículos por día (Zúñiga, 2020; La Nación, 2018; Herrera, 2014). En esta investigación, el flujo vehicular diario asciende a 21 293 los fines de semana y 14 923 entre semana. Dicha diferencia podría atribuirse a que, por lo general, es entre viernes y domingo cuando se realiza la mayor cantidad de traslados asociados a actividades turísticas y de recreación, así como de mercancías desde San José con destino a puerto Limón.

Al igual que en otros Parques Nacionales con influencia de carreteras, como Carara y Santa Rosa, la proporción de tráfico liviano es mucho mayor que el pesado (Arévalo & Blau, 2017). En Quebrada González, en particular, los vehículos de carga liviana representaron entre el 65 % y 78 % del flujo vehicular total. No obstante, se debe reconocer el hecho de que, generalmente, el volumen del ruido de las carreteras incrementa cuando hay volúmenes de tráfico más pesados, velocidades más altas y una mayor cantidad de vehículos pesados (Krishna et al., 2017). En este sentido, pese a que no se encontró una correlación positiva entre el flujo vehicular y el nivel de ruido ambiental, sí se determinó una débil influencia sobre este último en función del número de vehículos pesados.

El ruido ambiental promedio determinado en Quebrada González coincide con el valor estimado de 73 dBA en el Parque Nacional Santa Rosa (Tenez, 2016). Además, tanto en este último como en el Parque Nacional Carara, se repite la tendencia mostrada en los mapas acústicos de 2018 y 2025, donde el nivel de presión sonora desciende conforme aumenta la distancia de la carretera (Tenez, 2016; Arévalo & Blau, 2017). Ambas situaciones reflejan el deterioro de la calidad y la fragmentación del hábitat desde una perspectiva de paisaje sonoro, que conlleva la segregación de las superficies naturales generando fragmentos progresivamente aislados de ecosistemas naturales localizados en una matriz territorial antropogénica (Bruschi et al., 2015; Madadi et al., 2017).

Desde el punto de vista de evaluación de acústica ambiental de áreas protegidas, la modelación de los niveles de presión sonora es importante pues delimita las zonas de exposición al ruido e identifica los espacios influenciados por el ruido antropogénico (Hernández et al., 2013). La situación de acústica ambiental actual, así como la proyectada, es decir, con y sin ampliación de la Ruta Nacional 32, muestra la presencia de contaminación acústica producto del tráfico rodado. De allí que, la principal función de los mapas acústicos elaborados en esta investigación es la de servir como un instrumento para la planificación y gestión del territorio a través de la evaluación espacial y temporal de la dinámica acústica (Iglesias et al., 2015).

La expansión de la infraestructura terrestre da origen a huellas de ruido expansivas que fragmentan la acústica ambiental y restringen las condiciones naturalmente libres de antropfonías en muchas áreas silvestres protegidas (Lynch et al., 2011). Si bien es cierto, el proyecto de ampliación de la Ruta Nacional 32 no contempla el tramo de carretera que atraviesa el Parque Nacional Braulio Carrillo, la inauguración de los cuatro carriles prevista para 2022 necesariamente tendrá un impacto indirecto sobre el ruido antropogénico emitido en el sector de Quebrada González. Pese a que la simulación acústica realizada para el 2025 solamente contempla el aumento en el flujo vehicular proyectado y la proporción de tráfico pesado, manteniendo la velocidad permitida de 80 km/h, se estima un aumento de alrededor de 3 dBA en los transectos inmediatos a la carretera. Futuros estudios deberían incorporar otras variables como altitud y pendiente del terreno, tipo de vegetación y su coeficiente de absorción, análisis de espectro de frecuencias en bandas de octava, y nivel de presión sonora residual (biofonías y geofonías) (Barber et al., 2011).

5. Conclusiones

El ruido por tráfico rodado sobre la Ruta Nacional 32 es un contaminante del ambiente natural del Parque Nacional Braulio Carrillo, que representa una inevitable degradación del hábitat en contra de los esfuerzos por conservar las especies y ecosistemas naturales del país. El presente estudio, junto con otros realizados en otros Parques Nacionales que fueron mencionados en este artículo, deja en evidencia que el ruido de origen antropogénico es una de las amenazas más comunes en áreas naturales bajo la influencia de vías terrestres. Lo anterior, conlleva la fragmentación del paisaje sonoro que ocasiona impactos directos e indirectos sobre la vida silvestre, a la vez que se genera un impacto sobre las conexiones estructurales y funcionales de los corredores biológicos, cuya relevancia en el país ha sido impulsada en las diferentes agendas políticas ambientales. Por esta razón, es indispensable reflexionar sobre la incorporación de esta variable ambiental en los Planes de Manejo de las áreas silvestres protegidas, así como en los Estudios de Impacto Ambiental de las obras de construcción vial, con el fin de gestionar adecuadamente el monitoreo, el seguimiento, la mitigación y la adaptación al ruido antropogénico. Mantener esta línea de investigación eventualmente permitirá la elaboración de mapas acústicos por área silvestre

protegida, y con base en eso determinar la efectividad de las medidas de gestión establecidas, tales como señalización vial, reductores de velocidad, conducción pasiva, barreras acústicas, y que a largo plazo incluso podrían considerar la remodelación de redes de transportes dentro de los espacios naturales.

6. Agradecimientos

Se brinda un especial agradecimiento al personal guardaparque de los sectores de Quebrada González y El Ceibo del PNBC, quienes me recibieron cálidamente durante todo el trabajo de campo. A la Universidad Nacional a través del Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología y al Instituto de Conservación y Manejo de Vida Silvestre, quienes facilitaron los recursos para esta investigación.

7. Referencias

- Área de Conservación Cordillera Volcánica Central & Onca Natural. (2005). *Plan de Manejo del Parque Nacional Braulio Carrillo* (F. Bermúdez, Ed.). Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).
<http://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACC/Parque%20Nacional%20Braulio%20Carrillo.pdf>
- Arévalo, J. (2009). *Efectos por tráfico en carreteras sobre las aves en el Parque Nacional Carara*. The School for Field Studies.
- Arévalo, J. (2013). *Efecto del ruido en carretera sobre la bioacústica en áreas protegidas, Costa Rica*. Ponencia presentada en I Simposio Ecología de Caminos: Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Arévalo, J., & Blau, E. (2017). Road encroachment near protected areas alters the natural soundscape through traffic noise pollution in Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(1), 27. <https://doi.org/10.15359/rca.52-1.2>
- Arévalo, J., & Newhard, K. (2011). Traffic noise affects forest bird species in a protected tropical forest. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 969-980. <https://doi.org/10.15517/rbt.v0i0.3152>
- Bao, S., Shieh, L., Chao, C., Hsiang, L., & Chen, L. (2011). Acoustic adaptations to anthropogenic noise in the cicada *Cryptotympana takasagona* Kato (Hemiptera: Cicadidae). *acta ethologica*, 15(1), 33-38. <https://doi.org/10.1007/s10211-011-0105-x>
- Barber, J., Burdett, C., Reed, S., Warner, K., Formichella, C., Crooks, K., Theobald, D. & Fristrup, K. (2011). Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Landscape Ecology*, 26, 1281-1295. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9646-7>
- Benítez, A., Alkemade, R., & Verweij, P. A. (2010). The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 143(6), 1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.009>
- Bovea, M. D., Carlos, M. del M., García, N., Mulet, E., & Pérez, V. (2011). *Manual de seguridad e higiene industrial para la formación en ingeniería*. Universitat Jaume I.
- Bruschi, D., Astiaso, D., Gugliermetti, F., & Cumo, F. (2015). Characterizing the fragmentation level of Italian's National Parks due to transportation infrastructures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.006>

- CDG Environmental Advisors. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto: "Rehabilitación y ampliación de la Ruta Nacional N° 32. Sección: La Intersección con la Ruta Nacional N° 4 – Limón"*. Ruta 32. <https://www.ruta32.cr/images/ambiental/estudio-impacto-ambiental.pdf>
- Chew, Y. R., & Wu, B. S. (2016). A soundscape approach to analyze traffic noise in the city of Taipei, Taiwan. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.05.002>
- Comisión Electrotécnica Internacional. (2013). *IEC 61672-1: Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones*. IEC
- Consejo Nacional de Vialidad. (2021a). *Informe mensual de avance No. 31: Marzo 2021*. CONAVI. <https://conavi.go.cr/documents/20126/98522/202103+17.11+Informe+Mensual+de+Avance+-+Marzo+2021.pdf/70588032-c121-6206-e4a2-d4c4654e4cf7?t=1618845589380>
- Consejo Nacional de Vialidad. (2021b). *Ruta 32: Aspectos generales del proyecto*. Ruta 32. Recuperado el 18 de julio de 2021 de <https://www.ruta32.cr/centro-de-informacion/infograficos>
- DataKustik GmbH. (2019). *Introduction to CadnaA*. DataKustik.
- Dumitri, P., Plopeanu, M., & Badea, D. (2013). Comparative study regarding the methods of interpolation. En Badea, A., Ribeiro, R., Grecea, C., & Veres, I, *Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering* (pp. 45-52). North Atlantic University Union. <https://www.wseas.org/main/books/2013/Antalya/GENG.pdf>
- Esri. (2018). *Cómo funciona IDW*. ArcGIS Desktop. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>
- Farina, A. (2014). *Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications*. Holanda: Springer.
- Francis, C., & Barber, J. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305-313. <https://doi.org/10.1890/120183>
- González, L. (2001). *Estudios de ingeniería de tránsito*. Universidad de Sonora.
- Graeme, S., McKenna, M., Angeloni, L., Crooks, K., Fristrup, K., Brown, E., Warner, K., Nelson, M., White, C., Briggs, J., McFarland, S., & Wittemyer, G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 91, 982-1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207>
- Hernández, R., Fernández, F., Cueto, J., & Gey, R. (2013). Las áreas naturales a través del análisis de su paisaje sonoro. *Revista de Acústica*, 44(1-2), 21-30. [http://www.sea-acustica.es/index.php?id=35&no_cache=1&tx_sfbooks_pi1\[showUid\]=7917&cHash=097fe772547d00bdd140ea14bae1ff8f](http://www.sea-acustica.es/index.php?id=35&no_cache=1&tx_sfbooks_pi1[showUid]=7917&cHash=097fe772547d00bdd140ea14bae1ff8f)
- Herrera, M. (30 de junio de 2014). Ampliación de ruta 32 en zona montañosa se ve imposible. *La Nación*. <https://www.nacion.com/el-pais/infraestructura/ampliacion-de-ruta-32-en-zona-montanosa-se-ve-imposible/S37VOLDM7NGABAMBGFHIQ7VEW4/story/>
- Iglesias, C. (2014). *Evaluación del ruido ambiental en espacios naturales protegidos implicaciones para su gestión* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid]. Archivo digital UPM. <http://oa.upm.es/30869/>
- Iglesias, C., Diaz, L., & Soliño, M. (2015). ransportation planning and quiet natural areas preservation: Aircraft overflights noise assessment in a National Park. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.006>

- Jefatura del Estado. (18 de noviembre de 2003). *Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido*. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/eli/es/l/2003/11/17/37/con>
- Krishna, I. V. M., Manickam, V., Shah, A., & Davergave, N. (2017). *Environmental Management: Science and Engineering for Industry*. Butterworth-Heinemann.
- La Nación. (17 de julio de 2018). Exportadores alegan que cierre de ruta 32 encareció costos para sacar mercadería. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/exportadores-alegan-que-cierre-de-ruta-32/AAMDQVLZ4JHMRLNQSROXI6OWZA/story/>
- Laurance, W. F., Goosem, M., & Laurance, S. G. W. (2009). Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 659-669. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.009>
- Lynch, E., Joyce, D. & Fristrup, K. (2011). An assessment of noise audibility and sound levels in U.S. National Parks. *Landscape Ecology*, 26, 1297-1309. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9643-x>
- Madadi, H., Moradi, H., Soffianian, A., Salmanmahiny, A., Senn, J. & Geneletti, D. (2017). Degradation of natural habitats by roads: Comparing land-take and noise effect zone. *Environmental Impact Assessment Review*, 65, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.05.003>
- Maijala, P., Shuyang, Z., Heittola, T., y Virtanen, T. (2018). Environmental noise monitoring using source classification in sensors. *Applied Acoustics*, 129(1), 258-267. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.08.006>
- Organización Internacional de Estandarización. (2017). *ISO 1996-2: Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental*. <https://www.iso.org/standard/59766.html>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Environmental noise guidelines for the European Region. OMS Oficina Regional de Europa. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf
- Ortiz, E. (2014). *Atlas de Costa Rica 2014* [Dataset]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/2238/6749>
- Ow, L. F., & Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.007>
- Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11(3), 868-873. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.11.005>
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., ... Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- Poder Ejecutivo de Costa Rica. (23 de noviembre de 2015). *Decreto ejecutivo 39428: Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido*. Sistema Costarricense de Información Jurídica. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=81011&nValor3=103122&strTipM=TC
- Pohlman, C. L., Turton, S. M., & Goosem, M. (2009). Temporal variation in microclimatic edge effects near powerlines, highways and streams in Australian tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(1), 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.003>
- Romero, J., Cerdá, S., Navasquillo, J., Miralles, J., & Garrigues, J. (2008). *Análisis acústico del canto de la "cicada orni", variedad valenciana*. Ponencia presentada en el V Congreso

- Ibérico de Acústica y Tecniacustica 2008 – 39° Congreso Español de Acústica, Coimbra, Portugal.
- Sánchez, M., Valenzuela, J. C., & Fontecilla, H. (2014). *Metodologías para obtener la Dosis de Ruido Diaria*. Instituto de Salud Pública de Chile.
- Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements. (2009). *Road noise prediction: 2 –Noise propagation computation method including meteorological effect (NMPB 2008)*. Francia: Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire.
- Slabbekoorn, H., & Ripmeester, E. A. P. (2007). Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, 17(1), 72-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03487.x>
- Tenez, E. (2016). *Caracterización del paisaje sonoro asociado a las carreteras internas del Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica]. Repositorio Digital del Área de Conservación Guanacaste. <http://copa.acguanacaste.ac.cr:8080/handle/11606/866>
- Zúñiga, J.C. (2020). *Anuario de información de tránsito 2019*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/724c5cd7-31e8-415f-9e86-bd0571cfd9b9/AnuarioTransito2019.pdf?MOD=AJPERES>