

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

INSTITUTO INTERNACIONAL EN CONSERVACIÓN Y
MANEJO DE VIDA SILVESTRE

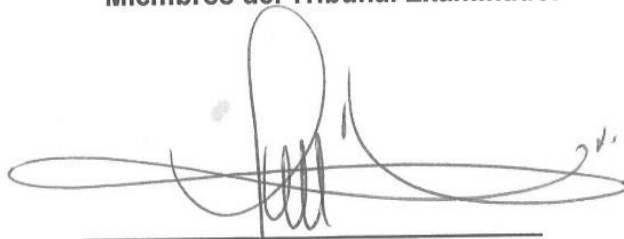
Herpetofauna atropellada en la Carretera Interamericana Norte,
Guanacaste, Costa Rica: Influencia de los atributos del paisaje en
las muertes y medidas para su mitigación.

Michelle Monge Velázquez

Heredia, Febrero 2018

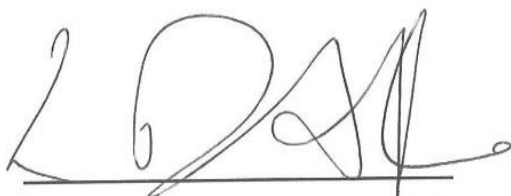
Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador de Posgrado
de la Universidad Nacional para optar al título de Magister Scientiae
en Conservación y Manejo de Vida Silvestre.

Miembros del Tribunal Examinador



Luis Alfredo Miranda Calderón

Presidente del Consejo Central de Posgrado o su representante



Luis Diego Alfaro Alvarado, PhD.

Representante del ICOMVIS



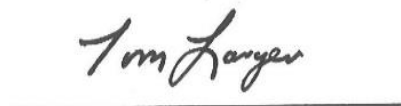
M.Sc. Joel C. Sáenz Méndez

Tutor



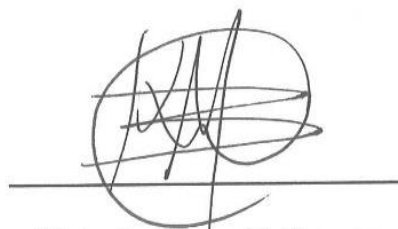
José Manuel Mora Benavides, PhD.

Asesor



Tom A. Langen, PhD.

Asesor



Michelle Monge Velázquez

Sustentante

Dedicatoria

A Vilma y Federico, por apoyar al máximo todos estos inventos míos.

Ah, y claro. A la conservación. Muchas veces quisiéramos trabajar en hipótesis meramente biológicas, más estas no podrían desarrollarse si no conservamos nuestro objeto de estudio primero. Conservar no sería necesario si no provocáramos los declives.

RESUMEN

Las carreteras que atraviesan parques nacionales tienen múltiples impactos sobre la fauna silvestre, como las muertes por atropellamiento, el aislamiento de poblaciones, cambios en vocalizaciones y patrones reproductivos. Como consecuencia, se da la disminución de las poblaciones de especies de fauna silvestre, sobre todo en grupos taxonómicos vulnerables, como los anfibios y los reptiles. Por estos motivos, aunados a la próxima ampliación a cuatro carriles de la Carretera Interamericana Norte (sección, Liberia-Peñas Blancas), la cual separa los parques nacionales Santa Rosa y Guanacaste, se estudió la mortalidad en anfibios y reptiles a lo largo de 30,6 kilómetros de esta carretera, ubicados dentro del Área de Conservación Guanacaste, entre el río Tempisque y el cruce de Santa Cecilia. Se utilizaron dos metodologías para registrar la muerte por atropellamiento, la observación directa en vehículo en horario nocturno y crepuscular y la búsqueda por parcela en horario diurno. Durante setiembre a diciembre del 2016 hasta febrero del 2017 se hicieron recorridos a 25 km/h en automóvil en el área de estudio para realizar conteos de especies, y número de individuos atropellados. Se instalaron 306 parcelas de 100 m x 8 m de donde se realizaron los conteos totales de los animales atropellados que no fueron vistos desde el vehículo. Se caracterizó el trazado de la carretera (curva, recta) y el paisaje circundante a ella mediante la digitalización de los usos de suelo del sitio con imágenes LANDSAT en un SIG (QGIS). Se usaron modelos de regresión logística para determinar qué características del paisaje influyeron en los atropellos y se determinaron los sitios de alta mortalidad mediante la distribución de Kernel con el software KDE+. Por último, se realizó una propuesta de mitigación, para la cual se realizó una revisión de literatura, entrevistas a 55 conductores y la plataforma de Estándares Abiertos para la Conservación. Se encontraron 1332 individuos atropellados de 28 especies de herpetofauna, pertenecientes a 13 familias. *Incilius luetkenii* fue la especie más registrada con 53% de las observaciones. Los parches de bosque, la distancia a fuentes de agua y charrales y tacotales fueron los factores más importantes asociados con los sitios de alta mortalidad de anfibios, mientras que el porcentaje de pastos fue significativo en la mortalidad de reptiles. Se identificaron 32 segmentos con distribución agrupada de las muertes por carretera, con diferentes grados de severidad según la abundancia de mortalidad. Por último, se recomienda mantener una fase de monitoreo de la mortalidad en esta carretera y se dé la construcción de alcantarillas con cercas de desvío en los sitios de alta mortalidad para reducir el atropello de estos taxones.

Palabras clave: Atropellos, carreteras, Herpetofauna, Parque Nacional Guanacaste, Parque Nacional Santa Rosa.

ABSTRACT

Roads through national parks have multiple impacts in addition to road kill, such as isolation of populations, changes in vocalizations and reproductive patterns. As a consequence, there is a decline in populations of wildlife species, especially amphibian and reptile populations. Taking this into account and the forthcoming four-lane extension of the Inter-American Highway, which separates the Santa Rosa and Guanacaste National Parks, I studied mortality in amphibians and reptiles along 30 kilometers of the Inter-American North Highway, which intersects Guanacaste and Santa Rosa National Parks. During the months of September to December of 2016 and January and February of 2017, I made 30.6 kilometers of the Inter-American Highway to conduct counts of road-kill individuals. Two methodologies were used, the direct observation in nocturnal and twilight hours and sampling by plot during daytime. The road and the landscape surrounding it were characterized by digitizing LANDSAT images in QGIS. Logistic regression models were applied to determine which features of the landscape influence the road-kill, and high mortality sites were determined using the Kernel distribution with the KDE+ software. Finally, a mitigation proposal was made, for which a literature review, interviews with 55 drivers and the Open Standards for Conservation platform were conducted. I found 1332 individuals of 28 herpetofauna species, including 13 families. *Incilius luetkenii* was the most registered species with 53% of the observations. Thirty-two road segments of different lengths showed a hotspot distribution using Kernel density method. Logistic regression models showed that proximity to water sources, forest patches and shrubland were the most important factors associated with amphibian mortality hotspots, and grassland for reptile mortality. I recommend continued monitoring of road mortality, and construction of culverts alongside fencing measures to reduce the mortality of these taxa at hotspots.

Keywords: Herpetofauna, Road effect, Roadkill, Santa Rosa National Park, Guanacaste National Park.

AGRADECIMIENTOS

Al Área de Conservación Guanacaste, por brindarme los permisos de investigación y proveerme estadía y alimentación. A Roger Blanco, Julio Díaz y todo el Programa de Protección e incendios, las cocineras Ivonne e Irene y Jairo del Programa de Sistemas de Información Geográfica en Pocosol, en donde me ayudaron y facilitaron mi investigación. A Viktoria, Héctor, German e Isidro Vidal por su asistencia en campo.

A mis compañeros de la promoción XXVI por todo su apoyo y las risas durante el proceso de convertirnos MSc. Estarán siempre en mi corazón.

A Joel Sáenz y mi comité de tesis por la asesoría y recomendaciones del trabajo. A José Manuel Mora y Joel por acompañarme en las giras de campo a Pocosol. A Jose Pablo Carvajal por su ayuda con SIG. De igual manera, al ICOMVIS y su personal por las facilidades en el proceso, especialmente a Yanori y a Hilda.

Al programa FOCAES de la Universidad Nacional por brindarme asistencia económica y al MICITT y su programa PINN por ayudarme a cursar el programa de posgrado.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	5
LITERATURA CITADA.....	7
CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LA HERPETOFAUNA ATROPELLADA EN LA CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, GUANACASTE COSTA RICA.....	11
CAPÍTULO II: INFLUENCIA DEL PAISAJE EN LA MORTALIDAD DE HERPETOFAUNA EN LA CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, GUANACASTE, COSTA RICA.....	36
CAPÍTULO III: UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ALTA MORTALIDAD: PROPUESTAS DE MITIGACIÓN Y ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN PARA HERPETOFAUNA EN LA CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, GUANACASTE, COSTA RICA.....	61
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	86
ANEXOS.....	87

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Número de especies de herpetofauna atropelladas en la Carretera Interamericana Norte según la época en el periodo de muestreo 2016-2017.....	18
Cuadro 2. Número de carcasas por especie encontradas en Carretera Interamericana Norte según el tipo o los tipos de vegetación circundantes a la parcela.....	43
Cuadro 3. Modelos de regresión lineal generalizada con mejor ajuste para la variable “Abundancia de anfibios atropellados” en la Carretera Interamericana Norte.....	47
Cuadro 4. Modelos de regresión lineal generalizada con mejor ajuste para la variable “Abundancia de reptiles atropellados” en la Carretera Interamericana Norte.....	50
Cuadro 5. Ubicación y condición de severidad de los sitios de alta mortalidad en la Carretera Interamericana Norte, Sector Tempisquito-Cruce Santa Cecilia, Guanacaste Costa Rica.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio. La línea gris representa la Carretera Interamericana que biseca el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	14
Figura 2. Número de registros de atropellos según taxón en cada muestreo.	17
Figura 3. Número de anfibios atropellados (<80) en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017.....	20
Figura 4. Número de anfibios atropellados (>80) en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017.....	21
Figura 5. Número de tortugas atropelladas en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017.....	22
Figura 6. Número de lacertílicos atropellados en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017.....	22
Figura 7. Número de serpientes atropelladas en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017.....	23
Figura 8. Sitio de estudio. Carretera Interamericana que biseca el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	39
Figura 9. Número de carcacas de herpetofauna encontradas en la carretera según la precipitación registrada en cada muestreo.....	44
Figura 10. Número de carcacas de herpetofauna encontradas en la carretera según la humedad relativa registrada en cada muestreo.....	45
Figura 11. Número de carcacas de herpetofauna encontradas en la carretera según la Temperatura diaria registrada en cada muestreo.....	46
Figura 12. Relación entre el porcentaje de bosque seco circundante a la carretera y los atropellos de anfibios en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.....	48
Figura 13. Relación entre el porcentaje de Charrales y Tacotales circundante a la Carretera y los atropellos de anfibios en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.....	49

Figura 14. Relación entre la distancia de la carretera a fuentes de agua y los atropellos de anfibios en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.....	49
Figura 15. Relación entre el porcentaje de pastos y los atropellos de reptiles en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.....	51
Figura 16. Sitio de estudio. Carretera Interamericana que biseca el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	64
Figura 17. Sitios de alta mortalidad de herpetofauna en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.....	70
Figura 18. Encuesta realizada a conductores que transitan la Carretera Interamericana Norte. ¿Cree necesario ampliar esta carretera? ¿Por qué?.....	71
Figura 19. Encuesta realizada a conductores que transitan la Carretera Interamericana Norte. ¿Ha visto rotulación preventiva sobre el paso de fauna silvestre en la carretera?.....	71
Figura 20. Esquema de Estándares Abiertos para la Conservación aplicado a las poblaciones de herpetofauna afectadas por la Carretera Interamericana Norte en el ACG.....	74

INTRODUCCIÓN GENERAL

La ecología de carreteras es una disciplina nueva que surgió en la creciente evidencia de que las carreteras o caminos están teniendo impactos sobre los componentes y los procesos de los ecosistemas (Forman 2003). En los últimos años se ha documentado que la expansión y construcción de carreteras fragmentan hábitats naturales, lo que produce el aislamiento de poblaciones locales de animales y plantas, elimina microhábitats necesarios para reproducción y en casos extremos propicia la extinción local de especies (Renjifo 1999, Kattan et al. 2004, Becker et al. 2007). Entre otras de las consecuencias negativas de las carreteras, se puede mencionar que la construcción y ampliación puede resultar en erosión del suelo, degradación de hábitat por sustancias químicas (herbicidas, agentes anti polvo, químicos derramados, petróleo, emisión de gases, etc.), propagación de especies exóticas de plantas que invaden áreas naturales, extracción ilegal de plantas y animales, y aceleramiento de la conversión de la cobertura del suelo a la agricultura y desarrollo urbanístico (Forman y Alexander 1998). Por último y como amenaza más directa, las carreteras reducen la sobrevivencia de los animales debido al incremento del riesgo de mortalidad por colisión con vehículos, especialmente en carreteras que segmentan o atraviesan áreas naturales que son usados por la fauna silvestre para desplazarse (Andrews 1990, Bennett 1999).

Dos de los grupos más afectados por esta amenaza son los anfibios y reptiles, los cuales representan la mayoría de los registros en los estudios de mortalidad de fauna en carreteras (Vargas-Salinas et al. 2011, Barichivich y Dodd 2002). Su condición ectotérmica, su capacidad de dispersión reducida, la permeabilidad de su piel (especialmente en anfibios), las respuestas de comportamiento a la luz, su necesidad de migración a sitios de reproducción y sus ciclos de vida complejos, son características que influyen en el aumento de la vulnerabilidad a los efectos de la carretera (Harper et al. 2008, Andrews et al. 2008). Además, uno de los planteamientos que se han generado para explicar esta alta mortalidad parte de la hipótesis de que los reptiles y anfibios se sienten atraídos por las carreteras para elevar su temperatura corporal en las noches frescas debido a que la superficie de la carretera se mantiene más caliente que el aire y el paisaje circundante (Dodd et al. 1989, Rosen y Lowe 1994).

Además de efectos físicos y poblacionales, las carreteras tienen impactos en el comportamiento de la herpetofauna. El ruido generado por el tráfico vehicular puede inhibir la actividad de vocalización en algunas especies de anfibios y promover un cambio en su tasa de canto o en su frecuencia (Sun y Narins 2005, Parris y

Schneider 2009). Estas alteraciones en el comportamiento de comunicación de los anfibios puede implicar una reducción en la probabilidad de reproducción y éxito reproductivo, ya que una mayor tasa de canto incrementa el desgaste fisiológico de los individuos (Wells 2001), mientras que un incremento en la frecuencia de canto disminuye la distancia de comunicación, con lo que se reducen las oportunidades de atraer parejas (Parris et al. 2009).

Para mitigar algunas de estas amenazas, Beckmann et al. (2010) describieron medidas de mitigación clasificadas en dos grupos: 1) medidas que influyen en el comportamiento del conductor y 2) medidas que ejercen influencia en el comportamiento animal. En el primer grupo enlistan factores como la educación e información pública, señalización, aumento de la visibilidad para el conductor a través de diferentes medios, reductores de la velocidad o del tráfico, y otros medios de detección animal. 2) Entre las medidas orientadas a influir sobre el comportamiento de la vida silvestre se encuentran: los pasos de fauna (tales como puentes, túneles, sobrepasos y pasos subterráneos), el uso de reflectores y los repelentes de olor (Beckmann et al. 2010).

Los pasos para la fauna silvestre son técnicas empleadas por décadas (Forman et al. 2003). Se sabe que las agencias de transporte los consideran medidas efectivas para reducir las colisiones animal-vehículo y para conectar los hábitats que son interrumpidos por las carreteras (Yánes et al. 1995, Forman et al. 2003). Entre las estructuras más comunes catalogadas como pasos de fauna se describen a los pasos elevados, puentes para la vida silvestre, puentes expandidos y drenajes sobredimensionados (Jackson y Griffin 2000), pero estos en su mayoría son planeados y diseñados para el paso de mamíferos (Barri 2010, Morales et al. 2010).

Éstos pasos de fauna conectan hábitats y poblaciones e incrementan la seguridad de los conductores, y a su vez, reducen la mortalidad de la vida silvestre sobre el camino (Beckmann et al. 2010). Para que estos objetivos se cumplan, los pasos se deben enlazar a grandes paisajes funcionales y hábitats complejos que permitan a la vida silvestre dispersarse, moverse libremente y cumplir con sus requisitos de vida. Por lo tanto, no sólo se requiere consideraciones a una escala espacial grande, sino que también se debe incorporar cambios futuros o proyectados en el uso de la tierra, así como cambios dentro de los procesos de planeación a la hora de construir carreteras (Beckmann et al. 2010). Por último, para determinar la ubicación de estos pasos es necesario compilar datos de mortalidad en carretera que reflejen los sitios que requieren una mayor intervención, ya que no es financieramente factible para la mayoría de los gobiernos crear estrategias a lo largo de todas las carreteras (Gómez et al. 2008).

Una de las metodologías más utilizadas para cuantificar estos datos de mortalidad en carretera es el registrar puntos calientes, también llamados “hotspots”. La localización de estas zonas críticas implica la inspección periódica de caminos para buscar cadáveres, los cuales deben ser identificados y georreferenciados (Clevenger et al. 2003). Este enfoque metodológico general ha sido ampliamente utilizado, aunque implica una considerable variación en una serie de aspectos que pueden afectar la precisión de la identificación del punto de acceso, incluyendo el número de observadores, la frecuencia y duración de las encuestas, entre otros (Santos et al. 2015). Los “hotspots” pueden ser identificados con múltiples técnicas estadísticas (Everett 1974) y sirven para identificar mortalidad para diferentes grupos taxonómicos (Glista et al. 2007) siempre y cuando sean determinados por separado, ya que las medidas de mitigación son específicas para cada taxón (Glista et al. 2009).

Además de estudiar los puntos calientes es necesario abordar la relación entre la ubicación de los puntos con características relacionadas con el paisaje o con las características de la carretera. El paisaje y la estacionalidad determinan la distribución de los recursos en el medio ambiente, por lo que influyen en la composición, abundancia y movilidad de las especies y, en consecuencia, los patrones estacionales y espaciales de las especies (Alves da Rosa y Bager 2012). Dichas características son relevantes para tener un mejor entendimiento de donde y por qué las especies están cruzando las carreteras, y con ello, tener una propuesta de mitigación más efectiva. Teniendo en cuenta lo anterior, los objetivos de este estudio fueron:

Objetivo General:

1. Determinar la influencia de la Carretera Interamericana Norte en la mortalidad de herpetofauna de un sector del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Objetivos específicos:

1. Describir y enlistar las especies atropelladas de herpetofauna encontradas en los años 2008-2010, 2016-2017, en la Carretera Interamericana Norte, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica,
2. Determinar los sitios de alta mortalidad (hotspots) mediante datos de mortalidad por atropellamiento en la Carretera Interamericana Norte recopilados en los años 2016 y 2017.
3. Determinar si las características espaciales de la matriz adyacente a la Carretera

Interamericana Norte y el trazado de la carretera pueden influir en la mortalidad de especies de herpetofauna.

4. Establecer un plan de mitigación para disminuir las muertes de anfibios y reptiles que circundan la Carretera Interamericana Norte y el Área de Conservación Guanacaste.

Esta información servirá de línea base para determinar cuáles especies pueden ser vulnerables ante la colisión de vehículos en la carretera, y además, facilitar la información necesaria para determinar las características especie- específicas de las estructuras de mitigación de la carretera.

Hipótesis

El alineamiento de la carretera, tipo de cobertura vegetal circundante a la carretera, la distancia a cuerpos de agua y las condiciones atmosféricas influyen en los atropellos de herpetofauna en la Carretera Interamericana que atraviesa el Área de Conservación Guanacaste. Se espera que los puntos con mayor incidencia de atropellos se ubiquen en sitios con cuerpos de agua cercanos y alta cobertura boscosa. Además, las condiciones de temperatura intermedia, alta precipitación y alta humedad relativa pueden influir positivamente en la mortalidad.

JUSTIFICACIÓN

En Costa Rica, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) ha destacado como prioritario la construcción de obras viales. Una de las más importantes es la ampliación a cuatro carriles de la Carretera Interamericana Norte (Barranca-Peñas Blancas). La mejora de esta carretera permitiría hacer más expedito el traslado de mercancías desde México hasta Panamá, lo cual favorecería a los agricultores y exportadores nacionales y además al sector turístico (Villalobos 2010). La reciente ampliación a cuatro carriles de la Carretera Interamericana Norte, entre Cañas y Liberia fue la primera obra que se emprendió dentro de este proyecto a través de un préstamo del BID (Nación 2010). Posterior a la culminación de ello, el siguiente tramo a construir es el de Limonal- Cañas y Liberia-Peñas Blancas, lo cual implica que esta ampliación afectará al Área de Conservación Guanacaste (ACG). Por lo tanto, un estudio previo a dos carriles extra, como el que se propone aquí, es muy importante para entender el impacto que podría tener cuando la misma tenga cuatro carriles. Como se puede ver en el sitio web de la Procuraduría General de la República de Costa Rica, en el Decreto Ejecutivo número 34938, este proyecto es de alto interés a nivel político y económico “Artículo 1º—Declarar de Conveniencia Nacional la gestión administrativa y pública necesaria para la Rehabilitación y Ampliación de la Carretera Interamericana Norte, en su tramo “Barranca – Peñas Blancas”; así como la rehabilitación, ampliación y/o reconstrucción de todos los puentes ubicados en dicha sección y demás obras complementarias de rigor.”

Referente a esta ampliación y las posibles medidas de mitigación que se deban implementar para evitar que aumenten las muertes en carretera, en algunos medios de comunicación se ha comentado que “No existe una política nacional sobre el tema. Existen muchos pasos de fauna solamente porque las personas que diseñaron las carreteras los incluyeron- Lisbeth Navarro, regente ambiental de FCC (empresa a cargo de la ampliación a cuatro carriles de la Interamericana Norte)” (Soto 2013). Esto nos hace ver que posiblemente las estructuras colocadas en la carretera Cañas-Liberia sean poco efectivas, y por ende es necesario realizar estudios en las carreteras que indiquen cuales son los sitios más óptimos para la construcción de pasos de fauna. En este estudio se utilizaron los anfibios y reptiles como objeto de muestreo, porque como se mencionó previamente, poseen una variedad de características biológicas que influyen en su vulnerabilidad a los efectos de la carretera.

Es importante mitigar los efectos negativos de la carretera para los anfibios y reptiles ya que estos no solo tienen el mayor estado de amenaza de todos vertebrados terrestres, con significativamente más especies en riesgo que las aves o los mamíferos (IUCN, 2006), sino que también son parte fundamental del ecosistema. Los anfibios y reptiles son indicadores biológicos de la salud del ecosistema, ya que su presencia (o su ausencia) puede revelar el estrés del ecosistema, los impactos de pesticidas y la fragmentación del hábitat (Cullington 2014). Además, dado que muchas especies tienen posiciones de nivel medio en la cadena trófica, son reguladores importantes de diversas especies de invertebrados y vertebrados que se consideran perjudiciales o destructivas para los ecosistemas y plagas para los seres humanos. Su desaparición puede alterar el flujo del ecosistema ya que éstos son importantes en la captación y retención de nutrientes (Seale 1980). Por último, y desde otro ámbito, los anfibios y reptiles se utilizan como organismos modelo en la investigación embriológica, fisiológica y genética; ya que algunos compuestos derivados de anfibios y reptiles tienen importancia farmacológica por sus funciones antimicrobianas, analgésicas y anticancerígenas (Broccardo et al. 1981, Daly y Spande 1986, Negri et al. 2000, Lee 2008, Holthausen et al. 2017).

Al tener claro el contexto ambiental, económico y social en torno a la ampliación de la Carretera Interamericana, así como la importancia biológica de mantener la permeabilidad de la carretera en el aporte a la integridad ecológica del Área de Conservación Guanacaste (ACG), este estudio recopiló información para determinar y cuantificar con mayor certeza la magnitud de las muertes de anfibios y reptiles en estos tramos de la carretera. Con los resultados obtenidos se formularon recomendaciones claves para elaborar una estrategia de manejo y mitigación de impactos de la Carretera Interamericana en el estado actual y cuando sea ampliada a cuatro carriles. Por último, los resultados del estudio servirán a los gestores de las carreteras nacionales y administradores de áreas silvestres protegidas, como una herramienta importante para poder hacer mitigaciones viables en este tipo de obras.

LITERATURA CITADA

- Alves Da Rosa, C., y Bager, A. 2012. Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. *Journal of Environmental Management*, 97: 1-5.
- Andrews, A. 1990. Fragmentation of Habitat by Roads And Utility Corridors: A Review. *Australian Zoologist*, 26: 130-141.
- Andrews, K. M., Gibbons, J. W., Jochimsen, D. M., y Mitchell, J. 2008. Ecological Effects of Roads on Amphibians and Reptiles: A Literature Review. *Herpetological Conservation*, 3: 121-143.
- Barichivich, W. J. y Dodd C. K. 2002. The Effectiveness of Wildlife Barriers and Underpasses on U.S. Highway across Payne Prairie State Preserve, Alachua County, Florida. Phase II Post-Construction. Florida Department of Transportation Contract No. Bb-854
- Barri, F.R. 2010. Evaluación Preliminar De La Mortandad De Mastofauna Nativa Por Colisión Con Vehículos En Tres Rutas Argentinas. *Ecología Aplicada*, 9: 161-165.
- Becker, C.G., C.R. Fonseca, C.F. Baptista-Haddad, R.F. Batista y P.I. Prado. 2007. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. *Science* 318: 1775-1777.
- Beckmann, J. P., A. P. Clevenger, M. P. Huijser, y J. A. Hilty (Eds.) 2010. *Safe Passages: Highways, Wildlife, and Habitat Connectivity*. Island Press, Washington, D.C., 383 Pp.
- Bennett, A. F. 1999. *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation* (No. 1). IUCN.
- Broccardo, M., Erspamer, V., Falconieri, G., Improta, G., Linari, G., Melchiorri, P., y Montecucchi, P. C. 1981. Pharmacological data on dermorphins, a new class of potent opioid peptides from amphibian skin. *British journal of pharmacology*, 73: 625-631.
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B., y Gunson, K. E. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological conservation*, 109(1): 15-26.

- Cullington, E. 2014. Guidelines for Amphibian and Reptile Conservation during Urban and Rural Land Development in British Columbia British Columbia. Ministry of Environment, Biolinx Environmental Research Ltd, E. Wind Consulting, British Columbia. Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations 142 pp.
- Daly, J. W., y Spande, T. F. 1986. Amphibian alkaloids: chemistry, pharmacology, and biology. *Alkaloids: chemical and biological perspectives*, 4:1.
- Dodd, C. K., Enge, K. M., y Stuart, J. N. 1989. Reptiles on Highways in North-Central Alabama, USA. *Journal of Herpetology*, 23(2): 197-200.
- Forman, R. T. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press.
- Forman, R. T., y Alexander, L. E. 1998. Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1): 207-231.
- Forman, R.T.T., D. Sperling, J. Bissonette, A. Clevenger, C. Cutshall, V. Dale, L. Fahrig, R. France, C. Goldman, K. Heanue, J. Jones, F. Swanson, T. Turrentine y T. Winter. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington, Dc.
- Glista D.J, DeVault T.L, DeWoody J.A. 2007. Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetol Conserv Biol* 3:77–87
- Glista, D. J., DeVault, T. L., y DeWoody, J. A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and urban planning*, 91(1): 1-7.
- Gomes, L., Grilo, C., Silva, C., y Mira, A. 2009. Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecological Research*, 24(2): 355-370.
- Harper, M. J., Mccarthy, M. A., y Van Der Ree, R. 2008. Resources at the Landscape Scale Influence Possum Abundance. *Austral Ecology*, 33(3): 243-252.
- Holthausen, D. J., Lee, S. H., Kumar, V. T., Bouvier, N. M., Krammer, F., Ellebedy, A. H., y Jacob, J. 2017. An Amphibian Host Defense Peptide Is Virucidal for Human H1 Hemagglutinin-Bearing Influenza Viruses. *Immunity*, 46(4): 587-595.
- IUCN. 2006. *The Status and Distribution of Reptiles and Amphibians of the Mediterranean Basin*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 42 pp.
- Jackson, S.D. y C.R. Griffin. 2000. A Strategy for Mitigating Highway Impacts on Wildlife. Pp. 143- 159 in Messmer, T.A. And B. West, (Eds) *Wildlife and Highways*:

Seeking Solutions to an Ecological and Socio-Economic Dilemma. The Wildlife Society.

- Kattan, G.H., P. Franco, V. Rojas y G. Morales. 2004. Biological Diversification in a Complex Region: A Spatial Analysis of Faunistic Diversity and Biogeography of the Andes of Colombia. *Journal of Biogeography* 31: 1829-1839.
- Lee, I. 2008. Ranpirnase (Onconase®), a cytotoxic amphibian ribonuclease, manipulates tumour physiological parameters as a selective killer and a potential enhancer for chemotherapy and radiation in cancer therapy. *Expert opinion on biological therapy*, 8(6): 813-827.
- Morales, J. M., Moorcroft, P. R., Matthiopoulos, J., Frair, J. L., Kie, J. G., Powell, R. A., y Haydon, D. T. 2010. Building the bridge between animal movement and population dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365(1550): 2289-2301.
- Nación. 2010. De Cañas a Liberia en una vía de primer mundo. Recuperado el 1/09/2016 de: <http://www.nacion.com/brandvoice/Canas-Liberia-.html>
- Negri, L., Melchiorri, P., y Lattanzi, R. 2000. Pharmacology of amphibian opiate peptides. *Peptides*, 21(11): 1639-1647.
- Parris, K., y Schneider, A. 2009. Impacts of Traffic Noise and Traffic Volume on Birds of Roadside Habitats. *Ecology and Society*, 14(1).
- Renjifo, L.M. 1999. Composition Changes In A Sub-Andean Avifauna after Long-Term Forest Fragmentation. *Conservation Biology* 13: 1124-1139.
- Rosen, P. C., y Lowe, C. H. 1994. Highway Mortality of Snakes in the Sonoran Desert of Southern Arizona. *Biological Conservation*, 68(2): 143-148.
- Santos, S. M., Marques, J. T., Lourenço, A., Medinas, D., Barbosa, A. M., Beja, P., y Mira, A. 2015. Sampling effects on the identification of roadkill hotspots: implications for survey design. *Journal of environmental management*, 162: 87-95.
- Seale, D. B. 1980. Influence of amphibian larvae on primary production, nutrient flux, and competition in a pond ecosystem. *Ecology*, 61(6): 1531-1550.
- Soto, M. 2013. Carreteras De Costa Rica Urgen De Pasos Para Animales. *La Nación En Línea*: http://www.nacion.com/Nacional/Carreteras-Costa-Rica-Pasos-Animales_0_1374862537.Html

- Sun, J. W., y Narins, P. M. 2005. Anthropogenic Sounds Differentially Affect Amphibian Call Rate. *Biological Conservation*, 121(3): 419-427.
- Vargas-Salinas, F., Delgado-Ospina, I., y López-Aranda, F. 2011. Mortalidad Por Atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia/ Amphibians and reptiles killed by motor vehicles in a sub-andean forest in western Colombia. *Caldasia*, 121-138.
- Villalobos, F. 2010. Concesión De Obra Pública: Un Instrumento Fundamental. La Nación En Línea [Http://Www.Nacion.Com/Opinion/Foros/Concesion-Obra-Publica-Instrumento Fundamental_0_1149685063.Html](http://www.nacion.com/opinion/foros/concesion-obra-publica-instrumento-fundamental_0_1149685063.html)
- Wells, K. D. 2001. The energetics of calling in frogs. *Anuran communication*, 45-60.
- Yanes, M., J.M. Velasco, y F. Suárez. 1995. Permeability of Roads and Railways to Vertebrates: The Importance of Culverts. *Biological Conservation* 71: 217-222.

CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LA HERPETOFAUNA ATROPELLADA EN LA CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, GUANACASTE COSTA RICA.

RESUMEN

Costa Rica cuenta con una gran diversidad de anfibios y reptiles: 47 familias, 158 géneros y 436 especies. Esta herpetofauna es vulnerable a los efectos de las carreteras por diferentes motivos, como su condición anfibia, sus patrones reproductivos, su pequeño tamaño y velocidad e inclusive la aversión humana. Para determinar la riqueza y cuantificar la abundancia de herpetofauna que está siendo atropellada en la Carretera Interamericana Norte la cual atraviesa el Área de Conservación Guanacaste (Parque Nacional Santa Rosa y Guanacaste) se recorrió la carretera en busca de carcasas, en horario nocturno, crepuscular y diurno bajo dos metodologías: la búsqueda en automóvil a 25 km/h y la búsqueda por parcelas de 100 metros. Cada carcasa fue georeferenciada con GPS. Se encontraron un total 1332 carcasas, de las cuales 955 fueron registradas mediante la cuantificación general directa y 377 mediante la cuantificación por parcela. Las especies con mayor registro de mortalidad fueron *Incilius luetkenii* con 695 carcasas y *Rhinella marina* con 420 carcasas, lo que representa el 53.59 % y el 32.38% de las observaciones, respectivamente. La época lluviosa fue la temporada con mayor mortalidad debido a la ecología reproductiva de las especies que habitan la periferia de la carretera. Se registraron cuatro especies atropelladas con algún grado de amenaza según la UICN y la Ley de Conservación de Vida Silvestre Costarricense vigente. Además, se identificaron 17 especies que aumentaron su mortalidad desde el periodo 2008-2009 hasta el período actual. Es necesario mantener un monitoreo constante de la herpetofauna que muere en la carretera, para concretar acciones y disminuir la presión que ejerce la carretera sobre las poblaciones de estas especies.

Palabras clave: Atropellos, carreteras, Herpetofauna, Parque Nacional Guanacaste, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Conocida mundialmente por su diversidad biológica y su Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Costa Rica es el hogar de una amplia variedad de anfibios y reptiles. Este país cuenta con 47 familias, 158 géneros y 436 especies de herpetofauna gracias a la presencia de múltiples zonas de vida y gran diversidad y complejidad de hábitats disponibles (Bolaños et al. 2011). A pesar de contar con esta diversidad, Costa Rica no es ajena al declive de anfibios y reptiles que se ha dado en todo el mundo (Savage 2002). La herpetofauna costarricense cuenta con las mismas amenazas ya bien conocidas como lo son, el cambio del uso del suelo, el cambio climático, los patógenos como el hongo quitridio (*Batrachochytrium dendrobatidis*) o los *Ranavirus*, los contaminantes locales, las malformaciones en las extremidades y la degradación del hábitat (Collins 2010, Monge-Velázquez et al. 2016). Además de estas amenazas, se ha sumado la construcción o ampliación de carreteras cercanas a áreas silvestres protegidas, al punto en que autores como Houlahan y Findlay (2003) y Cushman (2006) afirman que el efecto perjudicial de los caminos sobre los anfibios puede ser tan severo como el efecto de la deforestación (Eigenbrod et al. 2008).

Pero, ¿Por qué la herpetofauna es vulnerable a la implantación y a la construcción de carreteras? Los anfibios parecen ser especialmente inermes a la mortalidad porque intentan fácilmente cruzar las carreteras, pero son lentos y pequeños y, por lo tanto, no son fácilmente evitados por los conductores (Fahrig et al. 1995). Los anfibios también aumentan la probabilidad de atropello al moverse entre múltiples hábitats por su condición anfibia y su necesidad de movilizarse a sitios de reproducción (Eigenbrod et al. 2008). Por su parte los reptiles además de moverse entre parches boscosos, termorregulan en la calzada de la carretera, con lo que aumentan las probabilidades de morir por atropellos (Colino-Rabanal y Lizana 2012). Las serpientes en particular tienen otra amenaza, la cual es la percepción negativa de las personas; por ende hay atropellos intencionales (Secco et al. 2014). Además, son animales que frecuentemente atraviesan carreteras (Shine et al. 2004) debido a sus ámbitos de acción medianos para encontrar comida, refugios y parejas (Zug et al. 2007, Quintero-Ángel et al. 2012).

Específicamente en Costa Rica, los anfibios y reptiles son afectados en la mayoría de las carreteras del país, en las que han llegado a morir hasta 5600 individuos al año en 4.2 km (Honda 2012). A pesar de esto, en los estudios sobre fauna silvestre en carreteras realizados en Costa Rica (Artavia et al. 2015, Araya-Gamboa y Salom 2016, Carvajal y Díaz 2013, Carvajal y Díaz 2014, Monge-Nájera 1996, Rojas-Chacón 2010, García-

Blanco et al. 2014, Torres 2011) han enfatizado mucho en mamíferos y poco en los registros de herpetofauna, a pesar que múltiples investigaciones a nivel mundial han registrado que este es el taxón más afectado en cuanto a atropellos directos se refiere (Carr y Fahrig 2001, Shine et al. 2004, Colino-Rabanal y Lizana 2012, Glista et al. 2008).

Es necesario tomar en cuenta a los anfibios y reptiles en este tipo de estudios por el papel y la función ecológica que cumplen, ya que tienen una función clave en la dinámica trófica, son indicadores de salud y resiliencia ambiental (Lambert 1997) y además ofrecen la posibilidad de síntesis de bioproductos que pueden llegar a contribuir al bienestar humano (Brinkworth et al. 2004). Dado lo anterior, en este capítulo se describe y se cuantifica la herpetofauna atropellada de agosto del 2016 a febrero del 2017, y además se enlistan las especies atropelladas de herpetofauna encontradas en los años 2008-2010, 2016-2017 en la Carretera Interamericana Norte, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

ÁREA DE ESTUDIO

La Carretera Interamericana Norte es uno de los dos tramos de la Carretera Panamericana que atraviesan Costa Rica. Esta vía es la ruta más importante para el transporte comercial con países al norte, inclusive con los Estados Unidos de América.

En los 30.6 km de longitud que constituyen el área de estudio, desde el sector del río Tempisque (10.815717°-85.543958°) hasta el cruce de Santa Cecilia (11.046349°-85.626493°), se atraviesa tres grandes bloques de uso del suelo del Área de Conservación Guanacaste (ACG): el agropaisaje, el bosque seco, y el uso urbano, Colonia Bolaños (10.971485° -85.621284).

El ACG se encuentra ubicado en el extremo noroeste de la provincia de Guanacaste, entre los cantones de Liberia y la Cruz. Cuenta con una extensión de 163000 ha entre los que se ubican el Parque Nacional Guanacaste y el Parque Nacional Santa Rosa (ACG 2012). El clima consta de dos temporadas: época seca y época lluviosa. La época seca se da generalmente de diciembre hasta abril, mientras que la época lluviosa se da de mayo a noviembre (ACG 2012), posee una gran diversidad de ecosistemas, los cuales incluye el bosque húmedo, bosque nuboso, bosque seco en diferentes etapas de regeneración, manglar y zona marino-costera (ACG 2012), (Fig. 1). En este bloque biogeográfico representa aproximadamente el 2% del país y el 13% de la provincia de Guanacaste, se encuentran aproximadamente 335000 especies de organismos terrestres, lo que equivaldría a un 2.6 % de la biodiversidad mundial (ACG 2012).

La carretera es asfaltada y posee en promedio ocho metros de ancho. A lo largo de la carretera la topografía varía y se puede encontrar poca cantidad de curvas. La carretera divide por completo un mosaico biológico el cual incluye rutas naturales de dispersión de animales e interrumpe así la conectividad, disuadiendo la migración o causando mortalidad debido a los atropellos.

Dentro de los límites del área de estudio, se encuentra el pueblo llamado Colonia Bolaños, el cual tiene un contacto directo con la carretera a lo largo de cuatro kilómetros. Un segmento de 13 km de la Carretera Interamericana separa dos de las áreas silvestres protegidas más importantes del ACG: el Parque Nacional Santa Rosa y el Parque Nacional Guanacaste. De los 30.6 km de carretera que corresponden al área de estudio, sólo 9.7 km no poseen contacto directo con las áreas protegidas.

Según el Anuario de Información de Tránsito (MOPT 2015) en esta carretera, el tráfico promedio diario es de 2361 vehículos (estación ubicada en el puente del río Tempisquito), y 4998 vehículos (estación Molinos de Guanacaste). Estos volúmenes se componen por un 42.21% de vehículos livianos y un 58,79% de vehículos pesados y 50,96% de vehículos livianos y un 49,04 % de vehículos pesados respectivamente.

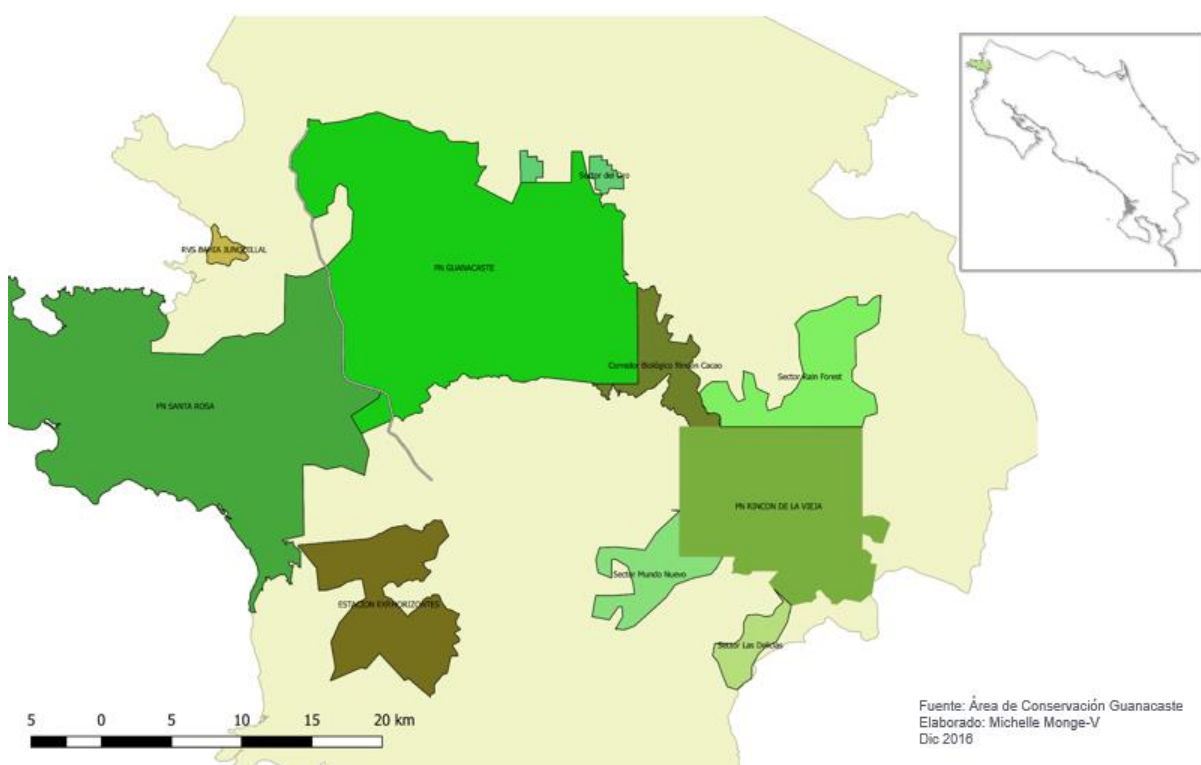


Figura 1. Área de estudio. La línea gris representa la Carretera Interamericana que biseca el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

METODOLOGÍA

Contabilización de atropellos

Para el conteo de mortalidad por atropello de la herpetofauna en la carretera que cruza el ACG se usaron dos metodologías:

1) Recorrido en vehículo: Para cuantificar la cantidad de especies e individuos de herpetofauna se recorrió la carretera en un vehículo con dos observadores, uno a cada lado del vehículo, sin sobrepasar los 25 km/h (Langen et al. 2007). Cada vez que se encontró un animal muerto en la vía, ambos observadores bajaron del vehículo, registraron la ubicación del cadáver con un GPS y se procedió a identificar la especie y anotarlo en el cuadro de registros (Anexo A). Este procedimiento se realizó cada 15 días (2 veces por mes) por tres o cuatro días consecutivos. Para evitar el conteo doble se removieron las carcasas del sitio de colisión. El horario de muestreo de cada día se realizó en dos bloques de tiempo, crepuscular (entre las 05:00 - 07:00 horas) y nocturno (entre las 20:00 - 22:00 horas).

2) Conteo en parcelas: Posterior al muestreo en vehículo y durante el día se procedió a registrar los individuos atropellados que no fueron detectados desde el vehículo. Para realizar esto, se dividió la carretera en 306 parcelas de 100 m de longitud y ocho m de ancho. Para minimizar efectos de cambios temporales de corto plazo, el muestreo se realizó bajo el esquema de muestreo aleatorio sistemático (Angulo et al. 2006), en el que se eligió al azar el inicio entre las parcelas 1 a la 30. Una vez elegido el número (ej.: 23, significa que el punto de inicio del muestreo comienza en la parcela 23, a 2300 m del extremo inicial) se consideró ese punto como el centro de la parcela y, a partir de este se midieron 50 m de carretera a cada lado, por lo tanto, cada parcela tuvo 100 m de largo por ocho m en promedio. Las parcelas siguientes se ubicaron cada 3 km, para un total de 10 parcelas. Las parcelas fueron revisadas por dos personas las cuales contabilizaron e identificaron todos los anfibios y reptiles muertos (recientes o de días anteriores). Como en el primer método de conteo, todas las carcasas fueron removidas de la parcela para evitar doble conteo. El centro de la parcela fue registrado con un GPS y se consideró como el punto de colisión o muerte de todos los individuos encontrados en la parcela.

Además, se utilizaron bases de datos recolectados en los años 2008-2009 y 2010-2011 pertenecientes al proyecto "Impacto de las carreteras que atraviesan parques nacionales sobre la fauna silvestre" para observar cambios temporales en la mortalidad. Los datos tomados en los períodos anteriores siguieron la misma metodología de

muestreo descrita en esta sección, a excepción de los datos tomados en el 2008-2009, los cuales fueron colectados utilizando la bicicleta para el recorrido en carretera.

Para elaborar la lista de anfibios y reptiles del Área de Conservación Guanacaste se utilizó la distribución reportada por tres guías como base: Savage (2002); Leenders (2016) y Muñoz-Chacón y Johnston (2013). Con esta lista se identificaron las especies atropelladas en la carretera que cruza el ACG y se analizaron aspectos de la biología y ecología de estas especies.

Análisis de datos

Los datos fueron analizados con estadística descriptiva mediante el paquete JGR (Helbig et al 2013) del programa R (R Core Team, 2016). Para determinar diferencias significativas entre el número de muertes de cada estacionalidad (época seca: noviembre a abril; época lluviosa: mayo a octubre), se aplicó una T student mediante el programa R (R Core Team, 2016)

RESULTADOS

Se encontraron un total 1.332 carcasas, de las cuales 955 fueron registradas mediante la cuantificación general directa y 377 mediante la cuantificación por parcela. En cuanto a la cuantificación general directa, las carcasas encontradas fueron representadas por 13 familias y 28 especies, mientras que las carcasas encontradas en los muestreos por parcela fueron representadas por 11 familias y 16 especies.

Las especies con mayor registro de mortalidad fueron *Incilius luetkenii* con 695 carcasas y *Rhinella marina* con 420 carcasas, lo que representa el 53.59 % y el 32.38% de las observaciones, respectivamente. Especies como *Aspidoscelis deppei*, y *Geophis hoffmani* fueron detectadas únicamente en el muestreo por parcela, mientras que *Lithobates forreri* fue detectada únicamente en el muestreo general directo. Por otro lado, la mayor parte de individuos no identificados (35 de 42) fueron encontrados en los muestreos por parcelas (Cuadro 1).

El muestreo 11, realizado en octubre, fue el que registró mayor número de individuos muertos, con un total de 583, mientras que el muestreo 19, en enero, fue el de menor número de registros con siete (Fig. 2).

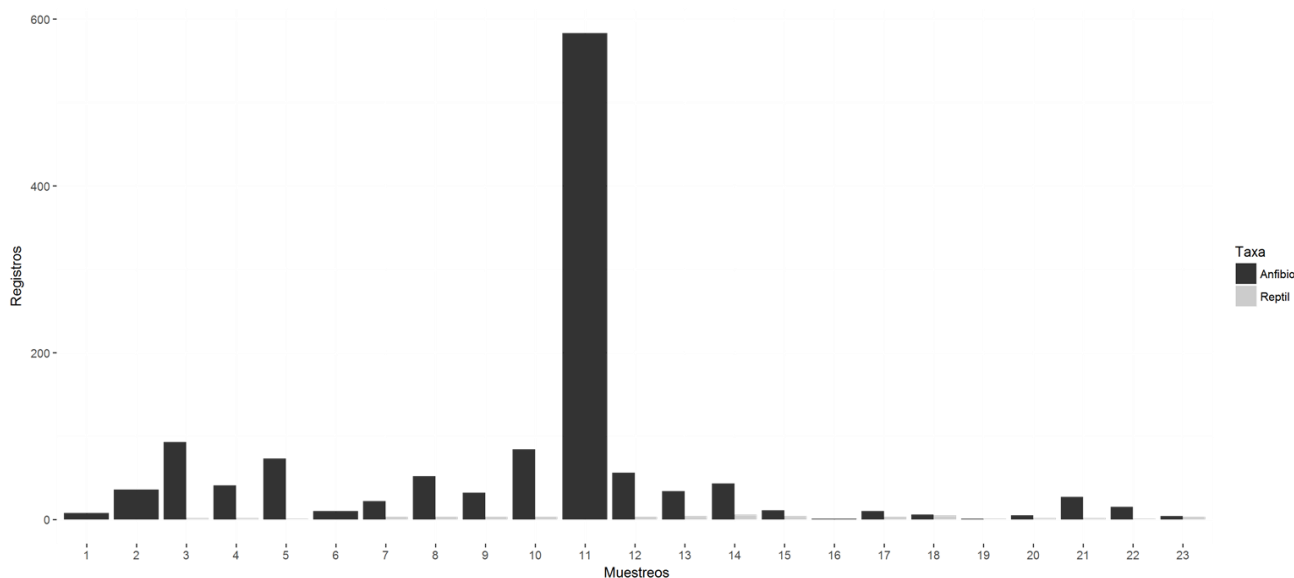


Figura 2. Número de registros de atropellos según taxón en cada muestreo. Los muestreos del 1 al 15 corresponden a época lluviosa, mientras que los muestreos del 16 al 23 corresponden a época seca. Los muestreos en época seca en los que no se registraron individuos no están contemplados en esta gráfica.

Hubo una diferencia significativa entre el número de especies registradas en la época seca y la época lluviosa ($t = 125.81$, $df = 1210$, $p=2.2e-16$). En época lluviosa, se encontraron 1212 individuos atropellados mientras que en la época seca hubo únicamente 86 (Fig. 2). La mayoría de especies presentaron mayor número de registros en época lluviosa, con excepción de *Leptodeira nigrofasciata*, *Iguana iguana*, *Micrurus nigrocinctus*, *Porthidium ophryomegas* y *Lithobates forreri* (Cuadro 1). Especies como *I. luetkenii*, *R. marina* e *I. coccifer* presentaron alta mortalidad en época lluviosa y baja en época seca. Por otro lado, durante la época seca se realizaron 13 muestreos, más 5 muestreos no tuvieron registro alguno, por lo que no se muestran en la Figura 2.

De la presente lista de atropellos, las especies contempladas con algún grado de amenaza por la legislación Costarricense son *B. constrictor* (16 atropellos registrados en total), *Gymnopsis multiplicata* (1 atropello registrado en total) e *I. luetkenii* (695 atropellos en total). En cuanto a la lista recopilada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2017), la mayoría de las especies presentan categoría de preocupación menor o no presentan ninguna categoría en el momento de esta investigación, a excepción de *Kinosternon scorpioides* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de especies de herpetofauna atropelladas en el periodo de muestreo 2016-2017 según la época y categoría de amenaza.

Espece	Época Seca	Época Lluviosa	Total	Categoría LCVS	Categoría UICN
Anfibio sin id	7	29	36	-	-
<i>Aspidoscelis deppei</i>	1	2	3	-	LC
<i>Boa constrictor</i>	1	1	2	PR/A	ND
<i>Coniophanes piceivittis</i>	0	1	1	-	LC
<i>Crotalus simus</i>	0	1	1	-	LC
<i>Ctenosaura similis</i>	3	4	7	-	LC
<i>Geophis hoffmani</i>	1	0	1	-	ND
<i>Gymnopsis multiplicata</i>	0	1	1	PR/A	LC
<i>Iguana iguana</i>	1	0	1	-	ND
<i>Imantodes gemmistratus</i>	0	1	1	-	ND
<i>Incilius coccifer</i>	3	20	23	-	LC
<i>Incilius luetkenii</i>	0	695	695	PR/A	LC
<i>Kinosternon leucostomum</i>	0	2	2	-	ND

Especie	Época seca	Época Lluviosa	Total	Categoría LCVS	Categoría UICN
<i>Kinosternon scorpioides</i>	0	1	1	-	NT
<i>Leptodactylus fragilis</i>	0	2	2	-	LC
<i>Leptodeira nigrofasciata</i>	2	1	3	-	LC
<i>Leptophis mexicanus</i>	0	1	1	-	LC
<i>Lithobates forreri</i>	12	11	23	-	LC
<i>Masticophis mentovarius</i>	0	2	2	-	LC
<i>Micrurus nigrocinctus</i>	2	0	2	-	LC
<i>Ninia maculata</i>	0	1	1	-	LC
<i>Oxybelis aeneus</i>	0	1	1	-	LC
<i>Porthidium ophryomegas</i>	4	2	6	-	LC
<i>Reptil sin id</i>	0	2	2	-	-
<i>Rhinella marina</i>	36	384	420	-	LC
<i>Serpiente sin id</i>	1	4	5	-	-
<i>Sibon sp</i>	0	1	1	-	-
<i>Smilisca_sp</i>	0	2	2	-	-
<i>Stenorrhina freminvillei</i>	0	1	1	-	LC
Teiidae	0	1	1	-	-
<i>Trachycephalus typhonius</i>	11	36	47	-	LC
<i>Trimorphodon quadruplex</i>	1	2	3	-	LC
Total	86	1212	1298	-	-

Simbología: LCVS: Ley de Conservación de Vida Silvestre, UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, PR/A: Poblaciones reducidas o Amenazadas, LC= "Least Concern" (Preocupación menor), NT= Near threatened (Casi amenazada), ND= No hay Datos.

En cuanto a la totalidad de atropellos en tres temporadas de muestreo (2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017), sólo se han detectado 45 especies atropelladas del total de especies herpetofaunísticas que se han registrado en el ACG (Anexo B), mientras que 82 especies nunca fueron registradas como atropello. Entre estos registros no se encontró ninguna especie de la familia Gekkonidae, Plethodontidae, Craugastoridae, Centrolenidae, Emydidae, Chelydridae, Corytophanidae, Phrynosomatidae, Xantusiidae, Scincidae, Gymnophthalmidae, Anomalepidae y solo dos individuos de la familia Dactyloidae (Anexo B). Se observa alta dominancia de especies en los anfibios, mientras que en los reptiles hay mayor número de especies atropelladas pero pocos registros.

Las especies *L. forreri*, *Trachycephalus typhonius*, *Smilisca phaeota*, *Leptodactylus fragilis*, *Incilius coccifer*, *R. marina* e *I. luetkenii* han mostrado un incremento en la mortalidad desde el período 2008 hasta el período 2016-2017 (Fig. 3 y Fig. 4). El caso opuesto se observa con las especies *Hypopachus variolosus*, *Smilisca baudinii*, *Scinax staufferi*, *Engystomops pustulosus*, *L. poecilochilus*, y *R. dorsalis* en donde se registra una disminución de la mortalidad (Fig. 3). La cantidad de anfibios sin identificar disminuyó drásticamente en los periodos 2009-2010 y 2016-2017 (Fig 4). El período 2008- 2009 es el único que muestra atropellos de las especies *L. poecilochilus*, *R. dorsalis*, *S. staufferi*, *S. baudinii*, y *E. pustulosus* (Fig. 3), mientras que en el período 2016-2017 se adiciona la especie *G. multiplicata*.

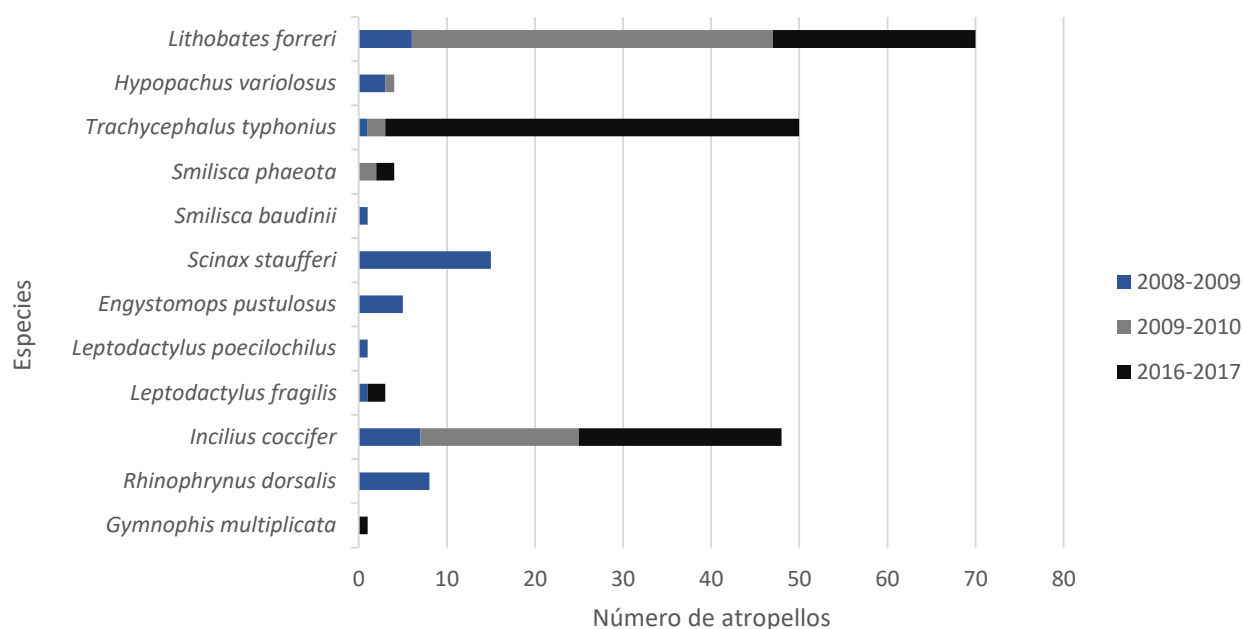


Figura 3. Número de anfibios atropellados (<80) en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009 (Lobo 2009), 2009-2010 (Sáenz et al. 2012) y 2016-2017.

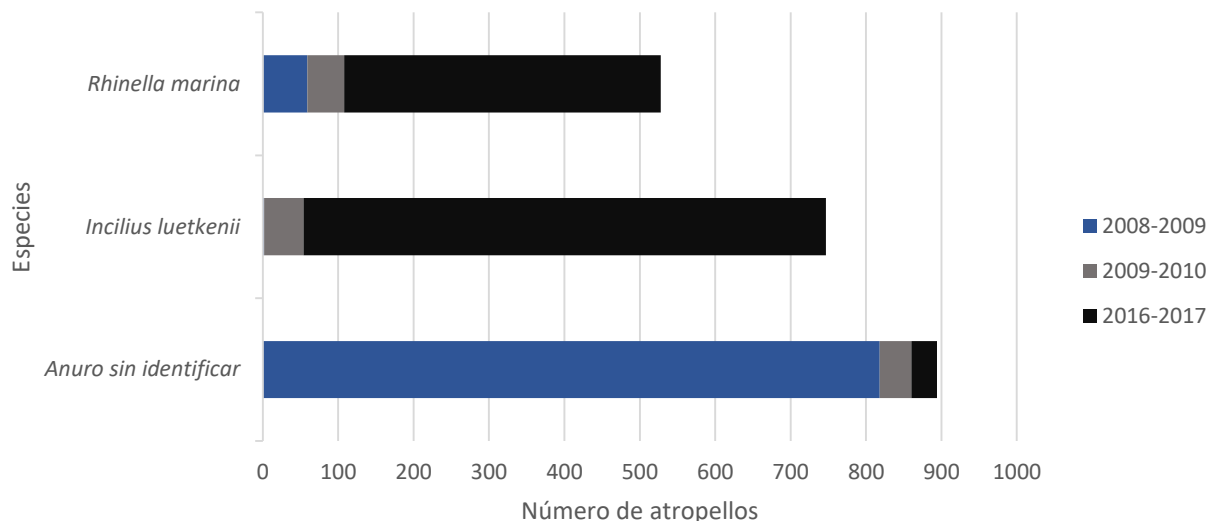


Figura 4. Número de anfibios atropellados (>80) en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009 (Lobo 2009), 2009-2010 (Sáenz et al. 2012) y 2016-2017.

Las tortugas fueron registradas mayormente en el período 2008-2009. En este período se registró una alta mortalidad de *K. scorpioides* (15 atropellos) y de *R. pulcherrima* (5 atropellos), mas no se registraron atropellos de *K. leucostomum* (Fig. 5). En el período 2009-2010 se registró únicamente *K. scorpioides* (tres atropellos), mientras que en el período 2016-2017 se registró tanto a *K. scorpioides* (un atropello) como *K. leucostomum* (dos atropellos) (Fig. 5).

Los lacertílicos fueron poco registrados durante los tres períodos de monitoreo, a excepción de *C. similis*, la cual se encontró en 12 ocasiones en el período 2008-2009, cuatro ocasiones en el período 2009-2010 y ocho ocasiones en el período 2016-2017. *A. deppei* e *I. iguana* se registraron únicamente en el período 2016-2017, mientras *A. cupreus* se registró únicamente en el período 2009-2010 (Fig. 6).

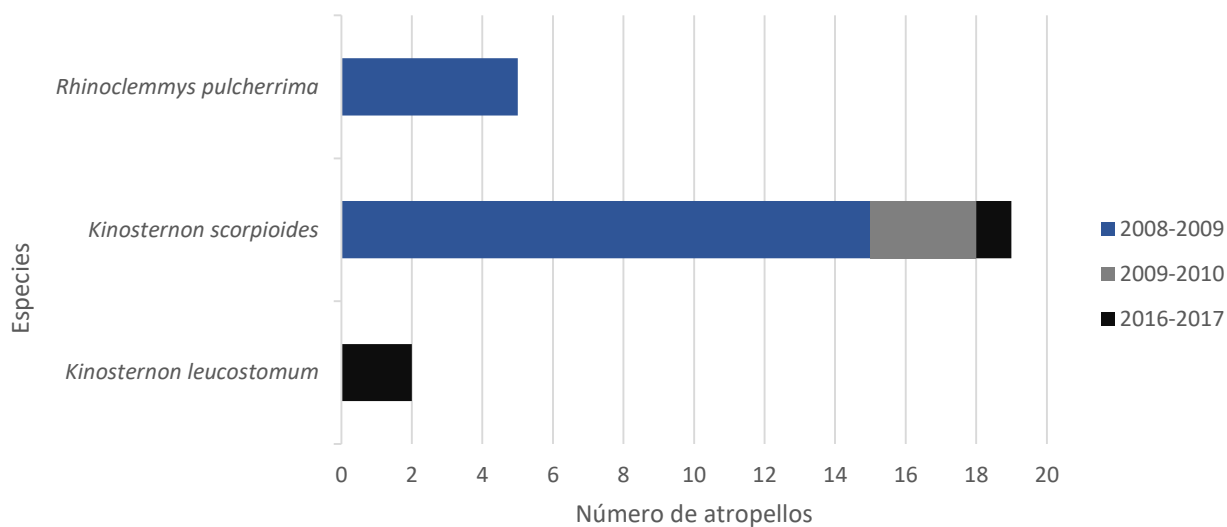


Figura 5. Número de tortugas atropelladas en la Carretera Interamericana Norte registradas en tres periodos: 2008-2009 (Lobo 2009), 2009-2010 (Sáenz et al.2012) y 2016-2017.

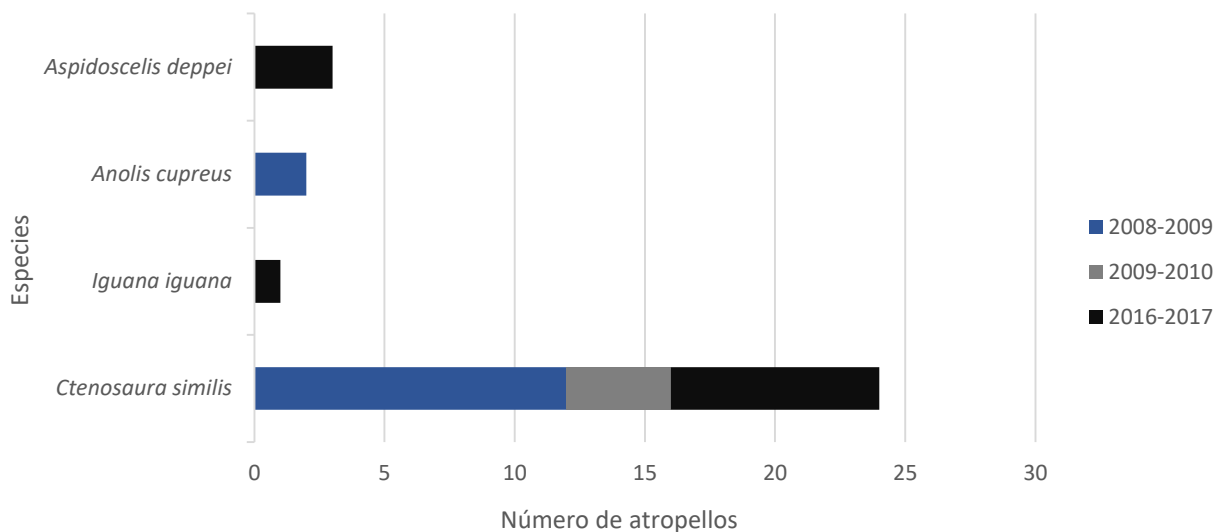


Figura 6. Número de lacertílicos atropellados en la Carretera Interamericana Norte registrados en tres periodos: 2008-2009 (Lobo 2009), 2009-2010 (Sáenz et al. 2012) y 2016-2017.

La cantidad de registros disminuyó para todas las especies de serpientes en el período 2016-2017. Las serpientes *Tantilla armillata*, *Loxocemus bicolor*, *Leptodrymus pulcherrimus*, *Ninia sebae*, *Typhlops ater*, y *Conopsis lineatus* fueron registradas únicamente en el período 2008-2009. (Fig. 7). El período 2009-2010 no registró atropellos exclusivos, mientras que el período 2016-2017 fue el único con registros de *Ninia maculata*, *Geophis hoffmani* y *Leptophis mexicanus* (Fig. 7). Llama la atención la disminución en los registros de atropello para las especies *P. ophryomegas* (23 atropellos en 2008-2009, dos atropellos en 2009-2010 y seis atropellos en 2016-2017), *L. annulata* (70 atropellos en 2008-2009, tres atropellos en 2009-2010 y ningún registro en el 2016 y 2017) e *I. gemnistratus* (15 atropellos en el período 2008-2009, ningún atropello en el 2009-2010 y un atropello en el 2016-2017) (Fig 7). El número de serpientes atropelladas sin identificar fue de uno en el período 2008-2009, seis en el período 2009-2010 y cinco en el período 2016-2017.

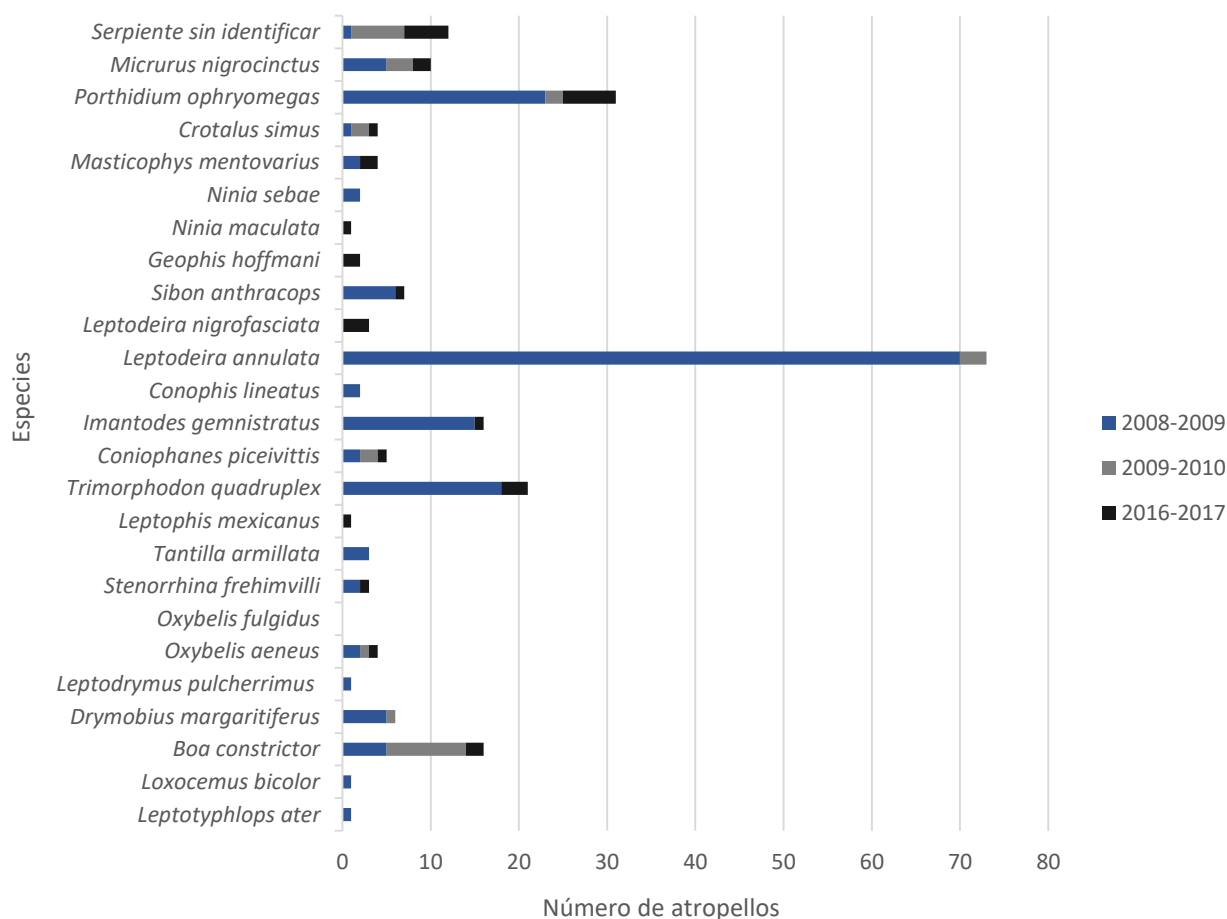


Figura 7. Número de serpientes atropelladas en la Carretera Interamericana Norte registradas en tres períodos: 2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017.

DISCUSIÓN

El hecho que la mayoría de los registros pertenecen a anfibios, específicamente anuros se debe a que estos animales poseen una delicada estructura corporal que puede hacerlos más susceptibles a las ondas de alta presión creadas por los vehículos que pasan a una velocidad igual o mayor a los 40km/h (Holden 2002). Esta onda crea suficiente fuerza para hacer que un animal expulse sus órganos internos y muera sin experimentar un impacto directo de un vehículo (Holden 2002). Con lo anterior se sabe que a pesar que un conductor trate de evitar atropellar un individuo éste tiene altas probabilidades de morir. A este elevado número de atropellos se suman los eventos de explosiones reproductivas por parte de bufónidos y otros anuros que cruzan la carretera con el fin de congregarse en lagunas o charcas estacionales (Hermann et al. 2005). Al darse estos eventos se encuentran cientos de individuos simultáneamente en carretera, por lo que a los conductores se les hace difícil esquivarlos (obs pers).

En el período 2016-2017 se registraron hasta 93% atropellos menos que en la época lluviosa. Esto puede ser explicado por múltiples razones. Durante la época seca, muchas especies entran en periodo de estivación, por lo que disminuyen su movimiento y su actividad (Hilje y Arévalo 2012) y por ende, se exponen menos a los efectos de las carreteras. A diferencia de la época seca, en la época lluviosa el número de desplazamientos aumenta debido al forrajeo (mayor productividad primaria, mayor disponibilidad de alimentos) y el apareamiento aumenta considerablemente, la lluvia proporciona mayor número de sitios para la reproducción (Ferreira da Cunha et al. 2010).

El incremento de muestras sin identificar en la época seca puede deberse a la disminución de cadáveres disponibles para los carroñeros, por lo que estos aprovechan el recurso en cuanto aparece, y desprenden la mayoría del tejido de la carretera (Santos et al. 2011). Beckmann y Shine (2015) reportaron que en la época seca, las carcasas de ranas y sapos duran respectivamente 23 minutos y 1.6 horas sin ser consumidos, lo que sugiere porqué especies como *L. forreri* fueron detectadas únicamente en los muestreos de recorrido en vehículo y las especies de la familia Bufonidae se encontraron en todos los muestreos. La gran cantidad de registros de *T. typhonius* puede deberse a su facilidad de detección e identificación. Esta especie puede ser identificada a pesar de encontrar carcasas muy deterioradas debido a la coloración verde diagnóstica en sus huesos.

Savage (2002) reportó que en el de bosque seco la agrupación de ranas reproductoras de estanques se incluyen a: *Incilius coccifer*, *Incilius luetkenii*, *Dendropsophus microcephala*, *Trachycephalus typhonius*, *Scinax boulengeri*, *Scinax staufferi*, *Smilisca*

baudinii, *Leptodactylus bolivianus*, *Leptodactylus labialis*, *Leptodactylus melanonotus*, *Leptodactylus savageii*, *Engystomops pustulosus*, *Hypopachus variolosus*, *Rhinophrynus dorsalis*, *Lithobates forreri* y *Lithobates vaillanti*, que se reproducen solo durante la estación húmeda (mayo a noviembre). Como se observa en las figuras 3 y 4, la mayoría de las especies mencionadas por Savage (2002) han sido registradas como atropello, y las especies con mayor proporción de atropellos responden a esos meses específicos en donde se dan las primeras lluvias intensas (indicadoras del inicio de la época reproductiva). Muchos de los individuos atropellados se encontraron en estado juvenil (obs pers.); por lo que se podría pensar que fueron influenciados al movimiento por parte de éstas lluvias, las cuales generan múltiples sitios y hábitats reproductivos y un alto recurso alimenticio (ya que muchas especies de insectos se reproducen y eclosionan en la misma época del año) (Wolda 1978).

El alto número de atropellos de individuos en estado juvenil en época reproductiva es una problemática fuerte que enfrentan estas especies (especialmente *I. luetkenii*); ya que además de ser eliminados por los vehículos, están más expuestos a depredación cuando se reúnen alrededor de los estanques (Carey y Bryant 1995). Además, las poblaciones de especies con una tasa de reproducción baja y temporalmente puntal como *I. luetkenii* e *I. coccifer*, (las cuales tienen puestas de 1000-5600 huevos (Hass y Kohler 1997) y 2000-4000 huevos (Savage 2002) respectivamente), son capaces de recuperarse más lentamente de los impactos negativos de las carreteras que las especies con tasas altas de reproducción, como *R. marina* y *T. typhoni* (2500-12500 huevos (Savage 2002) y 2834-9794 (Rodríguez et al. 2007, Grace et al. 2017).

La alta mortalidad que presenta *I. luetkenii* puede implicar una amenaza local para la población que habita en los ambientes aledaños a la carretera, ya que los atropellos aumentan en los eventos de reproducción (Orłowski et al. 2008). Las migraciones estacionales pueden obligar a los anfibios que requieren estanques para la reproducción a cruzar caminos muy transitados hacia y desde los sitios de reproducción (Holdgate 1989). Además, es posible que esta población provea individuos dispersores a otras poblaciones aledañas, por lo que se ve afectado el flujo genético poblacional (Hels y Nachman, 2002, Vos et al. 2001). A pesar de esto, no se podría afirmar que los atropellos están siendo una amenaza directa para la población de la especie en el área protegida, ya que no se cuenta con una estimación poblacional ni hay datos espaciales de cuantas subpoblaciones habitan el sitio.

R. marina es la especie con mayor registro de atropello en este y en múltiples estudios latinoamericanos (Vargas-Salinas et al. 2011, De la Ossa-Nadjari y De la Ossa

2015). Esta especie es ampliamente atropellada por habitar los sitios transicionales con efecto de borde y por lo tanto, sufre una gran exposición a los efectos de las carreteras (Savage 2002, Kattan 2002). Se ha comprobado que esta especie se alimenta de invertebrados (Lever 2001) y es capaz de consumir hasta 200 insectos por noche (Savage 2002) por lo que pueden sufrir atropellos en la búsqueda de alimento. Además, es una especie muy común en el Área de Conservación Guanacaste (Norman 2017).

A pesar de detectar el canto de *Dendropsophus microcephalus* en múltiples puntos a lo largo de la carretera, nunca se registró ningún individuo atropellado, posiblemente por sus hábitos lacustres. El macho canta desde vegetación emergente en charcos estacionales. Especies con este tipo de hábitat tienen un menor grado de amenaza generado por los atropellos en la carretera, ya que se desplaza poco por alimento y reproducción, y además, se considera abundante (Norman 2017). Una especie que se encontró atropellada a pesar de tener hábitos subterráneos y que tiende a desecarse muy rápido fue *Gymnophis multiplicata*. A pesar que pocos estudios han registrado cecílicos atropellados es posible que estos salgan a la superficie debido a que el suelo bajo la carretera es compactado, por lo que emergen para continuar su desplazamiento (Vijayakumar et al. 2001).

Llama la atención que *Rhinophrynus dorsalis*, una especie de distribución en esta zona, no se detecte atropellada desde hace nueve años. Surgen dos hipótesis: a) que la población aledaña a la carretera se haya reducido por el constante atropello o b) que no se detecte, ya que de acuerdo a la biología de la especie, esta sale a superficie en periodos cortos y específicos. El caso de *Hypopachus variolosus*, es similar. Esta especie fue registrada en los periodos 2008-2009 y 2010-2011, mas no en el periodo 2016-2017. No obstante, si se observaron cuatro individuos de la especie en el borde de la vegetación circundante a la carretera. *H. variolosus* se reproduce en las noches con alta densidad de lluvias, al igual que *R. dorsalis* e *I. luetkenii*. Curiosamente, en los períodos en los que *I. luetkenii* registra una mortalidad baja, *R. dorsalis* y *H. variolosus* presentan varios individuos atropellados, pero cuando *I. luetkenii* presenta abundancia de atropellos, *R. dorsalis* y *H. variolosus* no son atropellados. Se sugiere continuar el monitoreo y observar si existe una tendencia clara en cuanto a este supuesto, para determinar si la variación en la mortalidad tiene una influencia en la repartición de nicho o simplemente las especies *R. dorsalis* e *H. variolosus* presentan una reducción poblacional.

Los reptiles requieren mantener sus niveles de calor ya que el metabolismo tiende a optimizarse conforme sube la temperatura dentro de su ámbito de tolerancia (Fraser y Grigg 1984). La gran riqueza de serpientes muertas registradas y la alta abundancia de

C. similis puede estar ocurriendo por la fluctuación de temperatura que acumulan las carreteras. Al ser más altas que los hábitats naturales circundantes y las condiciones ambientales, estos reptiles pueden mantenerse cerca de las carreteras para aprovechar su calor tanto en la noche como durante el día, (Huey et al. 1989, Autumn et al. 1994), por lo que aumentan su probabilidad de atropello.

Otra de las características que pueden afectar la tasa de atropellos es la velocidad de movimiento de las serpientes, ya que las especies lentas van a aumentar la probabilidad de atropello (Andrews y Gibbons 2005). Varias de las especies registradas como atropelladas poseen longitudes mayores a 1 m, *L. bicolor*, *B. constrictor*, *D. margaritiferus*, *L. pulcherrimus*, *L. mexicanus*, *T. quadruplex*, *C. lineatus*, *L. annulata*, *M. mentovarius*, *C. simus*, y *M. nigrocinctus* (Muñoz-Chacón y Johnston 2013) por lo que incrementan aún más el riesgo a morir atropellados al mantener mayor superficie en carretera (Braz y Franca 2016).

Por otro lado los lacertílicos en general (menos el caso de *C. similis* mencionado anteriormente) no presentan elevada mortalidad en ninguna temporada. Por ejemplo, geckos y lagartijas de la familia Dactyloidae probablemente no sufren atropellos por sus hábitos arbóreos y poco terrestres. Además, estas lagartijas son diurnas, por lo que sus periodos de actividad no coinciden con los horarios de muestreo.

Existió una gran diferencia entre la cantidad de registros de serpientes entre los muestreos 2008-2009 y el muestreo del 2016-2017. Surgen dos hipótesis que podrían explicar la diferencia. La primera es de tipo experimental, y es que la metodología empleada en el período 2008-2009 aumentó la detectabilidad de las serpientes atropelladas. Según Lobo (2009), la mayoría de las especies de serpientes fueron registradas mediante muestreos realizados en bicicleta, mientras que en el actual muestreo no se implementó dicha metodología. El muestreo en bicicleta del 2008 registró el 100% de las observaciones totales de *O. aeneus*, 83% de *S. anthracops*, 78% de las observaciones de *P. ophryomegas*, y *L. annulata*, 73% de *I. gemnistratus*, 72 % de *T. quadruplex*, 66% de *T. amillata*, y el 50% de las observaciones de *C. lineatus* y *M. mentovarius* (Lobo 2009), por lo que se evidencia la importancia de dicho muestreo para la detección de carcasas de serpientes.

Los muestreos por parcela pueden estar registrando menor número de carcasas por el hecho que los muestreos de observación en automóvil se realizan en un horario crepuscular, y en estos se retiran las carcasas para evitar una sobreestimación. En realidad, no se descarta que este estudio provea una subestimación de la mortalidad real, como lo señalan Santos et al. (2011) quienes encontraron que un porcentaje de carcasas

no son contabilizadas por factores como pérdida de tejido por lixiviación, omisión por parte del investigador, o alimentación de carroñeros. Una hipótesis es de una aproximación de dinámica poblacional. “La abundancia de depredadores aumenta cuando hay un gran número de presas. Esto conduce a una mayor presión de depredación en la presa y, por tanto, a una disminución en la abundancia de presas. Esto conlleva a que haya escasez de alimentos para los depredadores y la abundancia de depredadores disminuya” (Begon et al. 1996).

Es posible que el muestreo actual se diera en un período en donde la densidad de serpientes se mantiene relativamente baja debido a fluctuaciones naturales de las poblaciones, siempre teniendo en cuenta que esta fluctuación no es lineal y que en esta relación no interviene únicamente la abundancia poblacional de las serpientes y sus presas, sino también las tasas de reproducción, competencia y los procesos de coevolución (Matter y Mannan 2005). Aún con los bajos registros de serpientes, este estudio alcanzó un mayor número de registros/tiempo en el presente muestreo que en los muestreos del 2008- 2012, en los cuales se buscó registrar todos los taxones, mientras que el muestreo 2016-2017 se centró en la búsqueda de carcasas de herpetofauna.

Las tres especies de tortugas encontradas murieron atropelladas por varios motivos. En primer lugar, poseen movimientos muy lentos, por lo que aumentan su permanencia en la carretera y con ello el riesgo de morir atropelladas. También influye el hecho de que a menudo cavan nidos en la grava suelta en los bordes de una carretera (Aresco 2003), por lo que son vulnerables a atropellos durante su época reproductiva. Los crías también poseen la misma vulnerabilidad ya que después de eclosionar del huevo, se dispersan hacia otro hábitat que cumpla con sus requerimientos nutricionales (Andrews et al. 2006).

Algunas tortugas tienen hábitos carroñeros, como por ejemplo *K. scorpioides* (Pritchard y Trebbau 1984). Esta especie fue la más atropellada si se toman en cuenta los tres períodos de muestreo. Al estar bajo categoría de amenaza de la UICN, es importante monitorear la mortalidad de esta y otras especies de tortugas, ya que son especies de alta longevidad, las cuales probablemente experimentan impactos irreparables en la población cuando mueren las hembras adultas (Congdon et al. 1993) al cruzar las carreteras y, por lo tanto, sufren de manera desproporcionada, más que otras especies de herpetofauna (Andrews et al. 2015).

Según la Ley de Conservación de la Vida Silvestre en Costa Rica (MINAE 2017) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2017), tres especies con algún grado de amenaza poblacional fueron atropelladas y registradas en muestreo 2016-2017 (*I. luetkenii*, *K. scorpioides* y *B. constrictor*). Es importante destacar la

necesidad de concretar acciones para disminuir la presión que ejerce la carretera sobre las poblaciones de estas especies, especialmente para *I. luetkenii*, como se ha señalado anteriormente, por su elevado número de atropellos en un periodo de vulnerabilidad en su ciclo de vida. Se debe tener en cuenta que la lista UICN es una lista general que declara el estado de conservación a nivel de especie. Este listado categoriza el riesgo de extinción, y proporciona poca información sobre la tasa de pérdidas de población. Es necesario tener claro que esta clasificación no especifica en amenazas puntuales a nivel poblacional, por lo que a pesar que se determine que alguna especie tenga la categoría de preocupación menor no se puede inferir que todas las poblaciones de la especie estén estables. Mantener un monitoreo constante de los atropellos en carretera puede ser un factor determinante para identificar amenazas adicionales a especies que registran amenazas catalogadas como preocupación menor.

LITERATURA CITADA

- ACG. 2012. ¿Qué es el ACG? Recuperado el 4 de octubre del 2016 de:
<https://www.acguanacaste.ac.cr>
- Andrews, K.M, Langen T.A, Struijk R. 2015. Reptiles: overlooked but often at risk from roads. Handbook road ecology. 1st ed. West Sussex: Wiley;. p. 1–9.
- Andrews, K. M., y Gibbons, J. W. 2005. How do highways influence snake movement? Behavioral responses to roads and vehicles. *Copeia*, (4): 772-782.
- Andrews, K.M., Gibbons, J.W., Jochimsen, D.M., 2006. Literature Synthesis of the Effects of Roads and Vehicles on Amphibians and Reptiles. Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation, Washington DC (USA) 151 pp.
- Angulo, A., Rodríguez-Mahecha, J. V., Rueda-Almonacid, J. V., y La Marca, E. 2006. Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional.
- Araya-Gamboa, D., y Salom-Pérez, R. 2016. Identificación de sitios de cruce de fauna en la ruta 415, en el " Paso del Jaguar", Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 17(30): 5-12.
- Aresco, M. J. 2003. Highway mortality of turtles and other herpetofauna at Lake Jackson, Florida, USA, and the efficacy of a temporary fence/culvert system to reduce roadkills. Road Ecology Center.
- Artavia, A., Jiménez, M., Martínez-Salinas, A., Pomareda, E., Araya-Gamboa, D., y Arévalo-Huezo, E. 2015. Registro de mamíferos silvestres en la sección de la ampliación de la Ruta 32, Limón, Costa Rica. *Brenesia* pp: 82-87
- Ashley, E. P., y Robinson, J. T. 1996. Road mortality of amphibians, reptiles and other wildlife on the Long Point Causeway, Lake Erie, Ontario. *Canadian Field Naturalist*, 110(3), 403-412.
- Autumn, K., Weinstein, R.B., Full, R.J., 1994. Low cost of locomotion increases performance at low temperature in a nocturnal lizard. *Physiol. Zool.* 67, 238–262.
- Beckmann, C., y Shine, R. 2015. Do the numbers and locations of road-killed anuran carcasses accurately reflect impacts of vehicular traffic? *The Journal of Wildlife Management*, 79(1): 92-101.

- Begon, M., J. L. Harper, y R. Townsend. 1996. Ecology. Third edition. Blackwell Science, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Bolaños, F., J. M. Savage y G. Chaves. 2011. Anfibios y Reptiles de Costa Rica. Listas Zoológicas Actualizadas UCR:
<http://museo.biologia.ucr.ac.cr/Listas/LZAPublicaciones.htm>. Museo de Zoología UCR. San Pedro, Costa Rica. Última actualización el 6 de diciembre del 2011. Publicación original en el 2009.
- Braz, V., y França, F. 2016. Wild vertebrate roadkill in the Chapada dos Veadeiros National Park, Central Brazil. *Biota Neotropica*, 16(1):182. E-pub January 12, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2014-0182>
- Brinkworth, S., Pukala T. L., Bowie J. H. y Tyler M. J. 2004. Host Defence Peptides from the Skin Glands of Australian Amphibians. Caerulein Neuropeptides and Antimicrobial, Anticancer, and nNOS Inhibiting Citropins from the Glandular Frog *Litoria subglandulosa*. *Australian Journal of Chemistry* 57: 693-701.
- Carey, C., y Bryant, C. J. 1995. Possible interrelations among environmental toxicants, amphibian development, and decline of amphibian populations. *Environmental Health Perspectives*, 103 (4): 13.
- Carr, L. W., y L. Fahrig. 2001. Effect of road traffic on two amphibian species of differing vagility. *Conservation Biology* 15:1071–1078.
- Carvajal, V. y Díaz F. 2013. Atropello de mamíferos silvestres en la ruta de acceso al cantón de Liberia, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Ventana* (1): 12-14.
- Carvajal, V. y Díaz, F. 2014. Mamíferos silvestres atropellados en rutas del cantón de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica y posibles estrategias de mitigación. *Brenesia* 81-82: 52-57.
- Colino-Rabanal, V. J., y Lizana, M. 2012. Herpetofauna and roads: a review. *Basic and Applied Herpetology*, 26, 5-31.
- Collins, J. P. 2010. Amphibian decline and extinction: what we know and what we need to learn. *Diseases of aquatic organisms*, 92(2-3), 93-99.
- Cushman, S. A. 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. *Biological conservation*, 128(2): 231-240.

- De La Ossa-Nadjar, O., y De La Ossa V., J. 2015. Atropellamiento de Fauna Silvestre en las dos vías que circundan los Montes De María, Sucre, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 18(2):503-511.
- Eigenbrod, F., Hecnar, S. J., y Fahrig, L. 2008. The relative effects of road traffic and forest cover on anuran populations. *Biological conservation*, 141(1): 35-46.
- Fahrig, L., J. H. Pedlar, S. E. Pope, P. D. Taylor y J. F. Wegner. 1995. Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* 73:177–182.
- Ferreira da Cunha, H., Alves Moreira, F. G., y Sousa Silva, S. D. 2010. Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 32(3).
- Fraser, S., y Grigg, G. C. 1984. Control of thermal conductance is insignificant to thermoregulation in small reptiles. *Physiological Zoology*, 57(4): 392-400.
- García- Blanco, S., Espeja S., Romero, M., Martos, R., y Velasco, H. 2014. Proyecto PRASCOSUR (Protejamos Los Animales De La Costanera Sur). Informe semestral. Descargable en:
https://www.academia.edu/8712719/Proyecto_PRASCOSUR_PRotejamos_los_Animales_de_la_COstanera_SUR_informe_semestral
- Glista DJ, DeVault, TL, y De Woody, J.A. 2008. Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetol Conserv Biol.* 2008;3:77–87.
- Haas, W., y Köhler, G. 1997. "Freilandbeobachtungen, Pflege un Zacht von *Bufo luetkenii* Boulenger, 1891." *Herpetofauna*, 19(109), 5-9.
- Helbig, M, Urbanek, S , y Fellows, I. 2013. JGR: JGR – Java GUI for R. R package version 1.7-16. <http://CRAN.R-project.org/package=JGR>
- Hels, T., y Nachman, G. 2002. Simulating viability of a spadefoot toad *Pelobates fuscus* metapopulation in a landscape fragmented by a road. *Ecography*, 25(6): 730-744.
- Hilje, B., Arévalo-Huezo, E. 2012. Aestivation in the Cane Toad *Rhinella marina* Linnaeus, 1758 (Anura, Bufonidae) during the peak of a dry season in a tropical dry forest, Costa Rica *Herpetology Notes*, volume 5: 533-534
- Holden, C. 2002. Spring Road Peril: Toad blowout. *Science*: 296:43.
- Holdgate, M. W. 1989. Preface. Pp. 3. In T. E. S. Langton (Ed.), *Amphibians and Roads*. Proceedings of the Toad Tunnel Conference, Rendsburg, Federal Republic of Germany. ACO Polymer Products Ltd., Shefford, U.K.

- Honda, W. 2012. Informe final de actividades de voluntariado en el Parque Nacional Carara 2010-2012. 70 p.
- Houlahan, J. E., y Findlay, C. S. 2003. The effects of adjacent land use on wetland amphibian species richness and community composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(9): 1078-1094.
- Huey, R.B.; C.R. Peterson; S.J. Arnold Y W.P. Porter. 1989. Hot rocks and not-so-hot rocks: retreat-site selection by garter snakes and its thermal consequences. *Ecology* 70: 931-944.
- Lambert, M. R. K. 1997. Environmental effects of heavy spillage from a destroyed pesticide store near Hargeisa (Somaliland) assessed during the dry season, using reptiles and amphibians as bioindicators. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32(1): 80-93.
- Langen, T. A., Machniak, A., Crowe, E. K., Mangan, C., Marker, D. F., Liddle, N., y Roden, B. 2007. Methodologies for surveying herpetofauna mortality on rural highways. *Journal of Wildlife Management*, 71(4): 1361-1368.
- Langen, T. A., Ogden, K. M., y Schwarting, L. L. 2009. Predicting hot spots of herpetofauna road mortality along highway networks. *Journal of Wildlife Management*, 73(1): 104-114.
- Leenders, T. 2016. *Amphibians of Costa Rica: A Field Guide*. Comstock Publishing Associates, a division of Cornell University Press.
- Lever C. 2001. *The cane toad. The history and ecology of a successful colonist*. Westbury Academic and Scientific Publishing, Otley, West Yorkshire, UK.
- Lobo, H. 2009. Sin publicar. "Patrones y factores involucrados en la mortalidad de la fauna silvestre por colisión de vehículos a lo largo de la Carretera Interamericana que Atraviesa el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica." Informe de tesis, Universidad Nacional Costa Rica.
- Mazerolle, M. J. 2004. Amphibian road mortality in response to nightly variations in traffic intensity. *Herpetologica*, 60(1): 45-53.
- Matter, W. J., y Mannan, R. W. 2005. How do prey persist? *Journal of Wildlife Management*, 69(4): 1315-1320.

- Monge-Nájera, J. 1996. Vertebrate mortality on tropical highways: the Costa Rican case. *Mortalidad de vertebrados en las carreteras tropicales: el caso de Costa Rica*. *Vida Silvestre Neotropical.*, 5(2): 154-156.
- Monge-Velázquez, M., Barrantes-Madrigal, J., y Seisedos-de-Vergara, R. 2016. First report of limb abnormalities in *Rhaebo haematiticus* (Anura: Bufonidae) at La Selva Biological Station, Sarapiquí, Costa Rica. *Alytes*, 33.
- MOPT. 2015. Anuario De Información De Tránsito. Elaborado por Proceso de Planificación Estratégica Multimodal de Servicios de Infraestructura y de Transporte Secretaría De Planificación Sectorial Mopt-01-06-01-001-2016.
- Muñoz-Chacón, F., y Johnston, R. D. 2013. *Amphibians and Reptiles of Costa Rica: A Pocket Guide*. Nueva York: Zona Tropical Publications.
- Norman, D. 2017. *Guía de Campo de los Reptiles y Anfibios de Santa Rosa y Palo Verde*. Disponible en: www.acguanacaste.ac.cr
- Orłowski G, Ciesiołkiewicz J, Kaczor M, Radwańska J, y Żywicka A. 2008. Species composition and habitat correlates of amphibian roadkills in different landscapes of south-western Poland. *Pol J. Ecol* 56:659–671
- Pritchard, P. C., y Trebbau, P. 1984. *The turtles of Venezuela*. [Oxford, Ohio]: Soc. for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Quintero-Ángel, A., Osorio-Dominguez, D., Vargas-Salinas, F., y Saavedra-Rodríguez, C. A. 2012. Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. *Herpetology Notes*, 5: 99-105.
- R Core Team. 2016. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rodrigues, D.J, Uetanabaro, M. y Lopes, F. 2005. Reproductive patterns of *Trachycephalus venulosus* (Laurenti, 1768) and *Scinax fuscovarius* (Lutz, 1925) from the Cerrado, Central Brazil, *Journal of Natural History*, 39(35): 3217-3226
- Rojas-Chacón, E. 2010. Atropello de vertebrados en una carretera secundaria en Costa Rica. *Centro de Rescate de Tortufauna. Research Journal of the Costa Rica Distance Education University*. 3(1): 81-84
- Sáenz, J.; Langen, T.; Torres, L. 2012. Atropellamientos de vertebrados y posibles medidas de mitigación en el Área de Conservación Guanacaste

- (Presentación en PDF en: Memoria I Simposio Ecología de Caminos). San José, Costa Rica, UNED (Universidad Estatal a Distancia). 70 p.
- Santos, S. M., Carvalho, F., y Mira, A. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. PLoS One, 6(9), e25383
- Savage, J. M. 2002. The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas. University of Chicago press.
- Secco, H., Ratton, P., Castro, E., Lucas, P. S. y Bager, A. 2014. Intentional snake road-kill: a case study using fake snakes on a Brazilian road. Tropical Conservation Science Vol.7 (3):561-571. Available online: www.tropicalconservationscience.org
- Shine, R., Lemaster, M., Wall, M., Langkilde, T., y Mason, R. 2004. Why did the snake cross the road? Effects of roads on movement and location of mates by garter snakes (*Thamnophis sirtalis parietalis*). Ecology and Society, 9(1).
- Torres, L. 2011. Funcionalidad de estructuras subterráneas como pasos de fauna en la Carretera Interamericana Norte que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Vargas-Salinas, F., Delgado-Ospina, I., y López-Aranda, F. 2011. Mortalidad Por Atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un Bosque Subandino en el Occidente De Colombia/ Amphibians And Reptiles Killed by motor vehicles in a Sub-Andean Forest in Western Colombia. Caldasia, 121-138.
- Vijayakumar, S. P., Vasudevan, K., e Ishwar, N. M. 2001. Herpetofaunal mortality on roads in the Anamalai Hills, southern Western Ghats. HAMADRYAD-MADRAS-26, 253-260.
- Vos, C. C., Verboom, J., Opdam, P. F., y Ter Braak, C. J. 2001. Toward ecologically scaled landscape indices. The American Naturalist, 157(1), 24-41.
- Wolda, H. 1978. Seasonal fluctuations in rainfall, food and abundance of tropical insects. The Journal of Animal Ecology, 369-381.
- Zug, G.R., Vitt, L.J., y Caldwell, J.P. 2007: Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles, 2nd Edition. San Diego, California, Academic Press.

CAPÍTULO II: INFLUENCIA DEL PAISAJE EN LA MORTALIDAD DE HERPETOFAUNA EN LA CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, GUANACASTE, COSTA RICA.

RESUMEN

El atropellamiento de la fauna silvestre está influenciado por múltiples factores, entre ellos, el paisaje circundante a la carretera. Para determinar qué tipos de uso del suelo influyen en la mortalidad de anfibios y reptiles se clasificaron y digitalizaron los mismos (lagunas, charrales y tacotales, cobertura de bosque seco, uso urbano, pastizales, y zonas de cultivo) mediante QGIS e imágenes LANDSAT. Se contabilizaron los individuos muertos en la carretera mediante dos metodologías: La búsqueda en vehículo a 25 km/h y la búsqueda por parcelas. Cada individuo muerto fue georreferenciado con GPS para determinar en cuál uso o usos del suelo se ubicaba el registro. De igual manera, se registraron variables ambientales como la temperatura, la humedad y la precipitación obtenidas de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional en el Área de Conservación Guanacaste. Se utilizaron modelos lineales generalizados para determinar la influencia de cada variable sobre la mortalidad de anfibios y reptiles. Las muertes de anfibios estuvieron mayormente relacionadas a la cobertura boscosa y a la cercanía a fuentes de agua, mientras que las muertes de reptiles presentan azarosidad espacial, con una leve relación con las áreas cubiertas de pastos. Además, factores como la precipitación son determinantes en la mortalidad de algunas especies de anfibios, mientras que no se observa influencia de las variables ambientales en la mortalidad de reptiles. Se sugiere mantener el monitoreo de la mortalidad de estas especies para incrementar el tamaño de muestra y encontrar tendencias más claras en cuanto al hábitat y los movimientos que tienen estas especies.

Palabras clave: Anfibios, Área de Conservación Guanacaste, Atropellos, carreteras, SIG, Paisaje, Reptiles.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los casos, las carreteras tienen un efecto negativo sobre la fauna (Fahrig y Rytwinski, 2009). Sin embargo, algunas especies son más impactadas negativamente que otras. La mayoría de los estudios sobre la mortalidad en las carreteras se han centrado en carnívoros y ungulados, sin embargo uno de los taxones más afectados por los efectos de las carreteras es el de los anfibios y los reptiles (Aresco, 2005; Langen et al. 2009). El efecto es tal, que en general, la diversidad de especies de anfibios y reptiles decrece cuando hay presencia de carreteras (Findlay y Houlahan, 1997). Algunos estudios han relacionado la mortalidad de herpetofauna en carreteras con variables ambientales y de paisaje y han determinado que el paisaje circundante a las carreteras influye en la frecuencia de estos atropellos (Seo et al. 2015). Muchas especies de anfibios y algunas especies de reptiles requieren paisajes complejos, como los humedales para la reproducción y áreas de bosque para forrajeo e hibernación (Semlitsch 2002).

La relación entre paisaje y presencia de especies puede reflejarse en los hábitat que son atravesados por carreteras, ya que varios estudios han demostrado que la diversidad y heterogeneidad de especies atropelladas por los vehículos varían según el paisaje, y por ende con varios factores relacionados con la carretera (Gunson et al. 2011, Langen et al. 2012). Además de la cobertura forestal en el paisaje en algunos estudios se ha llegado a determinar que el efecto de la presencia del tránsito vehicular puede llegar a ser tan incidente en algunas poblaciones de anuros, como el efecto de la cobertura forestal en el paisaje (Fahrig et al. 1995).

Por esta razón, la cuantificación del paisaje es fundamental para entender los procesos ecológicos y determinar la abundancia de las especies. Hay una multitud de factores que operan en una amplia gama de escalas temporales y espaciales, que son responsables del mantenimiento de patrones de diversidad y movimiento de especies (Cody 2001). Por ejemplo, la alteración de un tipo de suelo determinado hace que se adicionen nuevos tipos de cobertura, con lo que se atraen especies distintas o se alejan las especies nativas del sitio (Walker 1992).

Entre los estudios que han desarrollado el tema de cómo se relacionan los diferentes elementos del paisaje con la presencia de herpetofauna, se encuentra el de Hermann et al. (2004) en el cual se observa que los ensamblajes de anfibios son influenciados principalmente por la cobertura forestal y el hidroperiodo de los humedales, especialmente cuando existe una cercanía de al menos 1.000 metros de la cobertura

boscosa al humedal. Kolozsvary y Swihart (1999) demostraron que la cantidad de área boscosa, el aislamiento entre parches boscosos y el área de bosque que rodea los estanques de cría influyen en la ocupación de los anfibios. Santos et al. (2007) encontraron que la alta tasa de mortalidad de un anfibio se debe a la combinación de tres factores: abundancia de individuos, densidad de tráfico y calidad de los puntos de agua para la reproducción. Guerry y Hunter (2002) encontraron que el paisaje va a afectar la presencia según la especie. En su estudio, siete de nueve especies se asociaron con el área de bosque, mientras que las dos restantes se asociaron negativamente con el área de cobertura boscosa, por lo que no se puede excluir las zonas abiertas como potenciales hábitat para algunas especies (Guerry y Hunter 2002).

La conectividad de los estanques y lagunas también se han clasificado como predictores clave de la viabilidad regional de las poblaciones de anfibios (Knutson et al. 1999, Houlahan et al., 2000, Marsh y Trenham 2001; Rothermel 2004); inclusive Garrah et al. (2015) encontraron que los “hotspots” de mortalidad están más asociados a fuentes de agua que los sitios que no presentan alta mortalidad. En el caso de los reptiles, su actividad se correlaciona con caminos con bajas velocidades de vehículos y arbustos que estaban cerca de los bosques y tierras agrícolas. En el caso de las serpientes, Quintero- Ángel et al. (2012) indicaron que el hábitat de pastizales está más correlacionado con la presencia de cadáveres de estos animales.

Las variables ambientales también se han visto relacionadas a la variación en la mortalidad de anfibios y reptiles. Seo et al. (2015) determinaron que la mortalidad de anfibios y reptiles aumenta en Marzo, Junio y Octubre. Garrah et al. (2015) encontraron un mayor número de muertes de anuros en carretera cuando el día anterior al muestreo hay precipitación superior a 6.4 mm, mientras que con quelonios la tendencia aumenta con precipitación superiores a 3 mm. Para las serpientes, se observó una tendencia a encontrar más individuos cuando la temperatura era más cálida que el día anterior al muestreo, pero esto no era importante a finales de septiembre u octubre.

Al tener información de composición del paisaje y los sitios de atropellos, se puede orientar a los profesionales del transporte en la colocación y el diseño de estructuras de mitigación relativamente permanentes, como pasos inferiores de la vida silvestre con cercas, así como medidas menos permanentes como señalización estacional de vida silvestre, límites de velocidad reducidos, manejo de la vegetación lateral y topes de velocidad (Gunson et al. 2011). El objetivo de este estudio fue determinar si las características espaciales de la matriz adyacente a la Carretera Interamericana Norte en

el sector que atraviesa el Área de Conservación Guanacaste y el trazado de la carretera influyen en la mortalidad de especies de herpetofauna.

ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se realizó en un sector de 30.6 km de longitud que van desde el sector del río Tempisquito (10.815717° , -85.543958°), hasta el cruce de Santa Cecilia (11.046349° , -85.626493°) en la Carretera Interamericana, Guanacaste, Costa Rica (Fig. 1). Esta carretera atraviesa tres grandes bloques de uso del suelo: el agropaisaje (se encuentran cultivos de arroz y pastos para ganado), el bosque seco, y el uso urbano (el pueblo de Colonia Bolaños (10.971485° - 85.621284°)). En el área de muestreo, la carretera es asfaltada y posee en promedio ocho metros de ancho. A lo largo de la carretera la topografía varía y se puede encontrar una baja cantidad de curvas tanto horizontales como verticales.

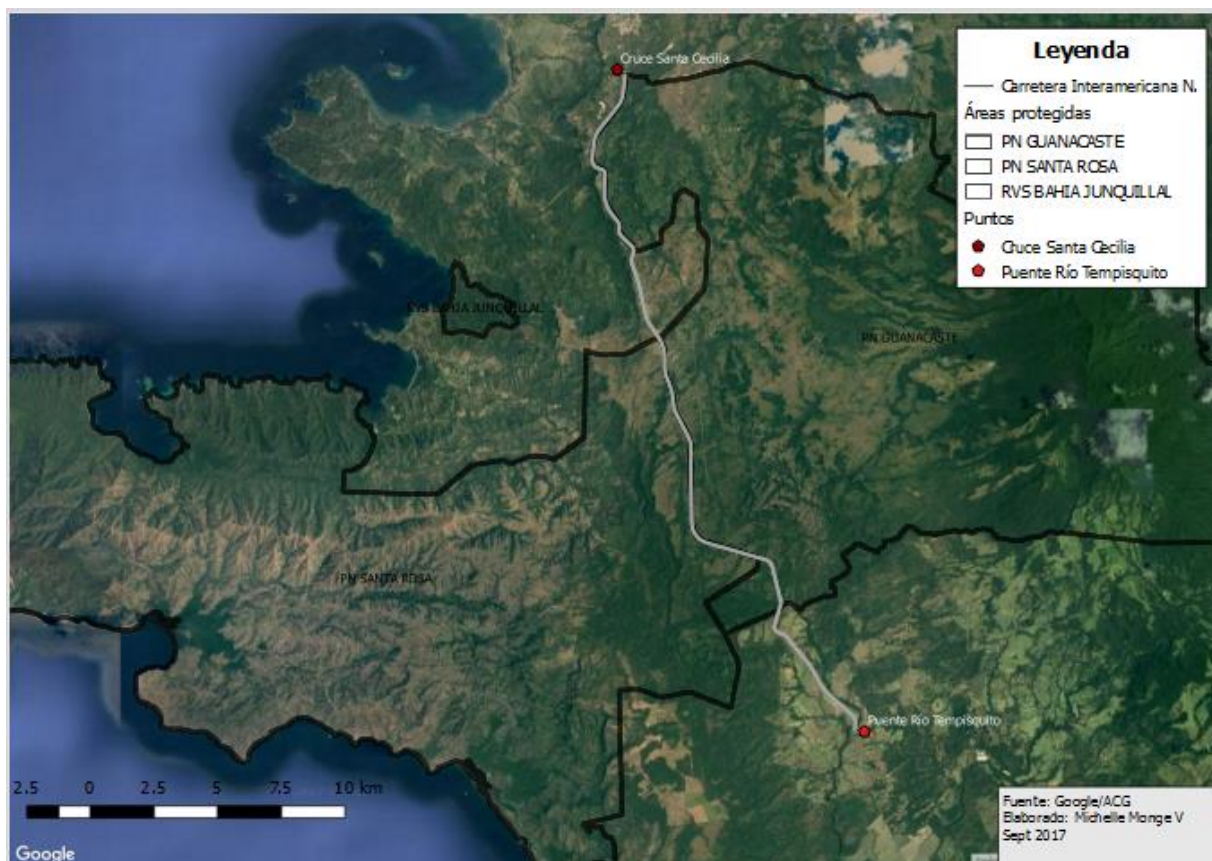


Figura 8. Sitio de estudio. Carretera Interamericana que biseca el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. Fuente: Google y Área de Conservación Guanacaste.

METODOLOGÍA

Caracterización del Paisaje

Para caracterizar el paisaje circundante a este sector de la carretera, se realizó una fotointerpretación de imágenes satelitales LANDSAT 8 obtenidos de la plataforma Google Earth®. Se digitalizaron todos los usos de suelo interpretables bajo las categorías de bosque seco, pastos, charrales y tacotales, uso urbano y lagunas en una capa vectorial, a escala 1:10000, utilizando el programa Quantum GIS® (QGIS, www.qgis.org).

Posteriormente, se digitalizó la carretera y se dividió en 306 segmentos (parcelas estáticas) de 100 m cada uno, numerados de norte a sur. La parcela estática número 1 se encuentra en el cruce de la Interamericana y la carretera a Santa Cecilia, mientras la parcela estática 306 en el puente del río Tempisquito (Fig 1.). A cada parcela estática se le calculó un buffer de 1.300 m de radio, el cual estuvo basado en el ámbito de hogar (“home range”) de *Rhinella marina* (Schwarzkopf y Alford (2002) y en el estudio realizado por Niemi et al. (2014). Se utilizó la función de cálculo de área, corte e intersección de QGIS® para calcular los porcentajes de cada uso del suelo en cada buffer y posteriormente estos fueron asignados a cada parcela.

Cada parcela estática se clasificó según la curvatura de la carretera. Las curvas se clasifican en tres tipos (a, b y c). Cuando la parcela estática posee un segmento de carretera recta, sin curva evidente corresponde a la clasificación A, cuando hay una curva evidente hacia a un lado de la carretera corresponde a clasificación B y cuando hay curvas a ambos lados de la carretera corresponde a clasificación C.

Para la comprobación de los usos del suelo identificadas con las imágenes LANDSAT, se realizaron 38 parcelas de vegetación de 8 x 8 metros, separadas a 1,5 km de distancia. En cada parcela se determinó la cobertura vegetal, el DAP de todos los árboles con valores mayores a 10 cm, y la altura de cada uno de ellos. Para estimar la cobertura vegetal se dividió la parcela en cuatro secciones según los puntos cardinales, y en cada sección se midió el valor de porcentaje de cobertura con el uso de un densiómetro y se promediaron los cuatro valores con lo que se otorgó un valor promedio para cada parcela. Además, a partir de los datos recopilados en campo se realizó un análisis para calcular el área basal (AB) que se refiere a la superficie ocupada por los diámetros de los árboles calculada conforme a la siguiente ecuación: $AB = \pi DAP^2/4$. Para la medición de la altura de los árboles se utilizó una pistola Haga. Se tomaron dos valores, el valor a la copa y el valor a la base y posteriormente se hizo la suma o resta respectiva.

Conteo de atropellos

La mortalidad de cada parcela fue contabilizada mediante recorridos en vehículo. La colecta de datos se realizó recorriendo la carretera a una velocidad de 25 km/hora, cada vez que se encontró un animal muerto en la vía, se registró la posición del cadáver con un GPS y se procedió a identificar la especie y anotarlo en el cuadro de registros (Anexo A). Este procedimiento se realizó cada 15 días (dos veces por mes) por tres o cuatro días consecutivos. Para evitar el doble conteo se removieron las carcacas del sitio. El horario de muestreo de cada día fue en dos bloques de tiempo, matutino (de 05:00 a 07:00) y nocturno (de 20:00 a 22:00).

Posterior al muestreo diurno en vehículo, la carretera se dividió en las mismas 306 parcelas de 100 m de longitud utilizadas para la foto digitalización. Estas parcelas se muestrearon bajo el esquema de muestreo aleatorio sistemático, en el que se elige al azar un número de inicio y se continúa el muestreo cada tres kilómetros. Los recorridos se hicieron a lo largo de una línea, efectuados a una velocidad constante y durante los cuales se intentó detectar la presencia de individuos (o grupos) de anfibios y reptiles. Las parcelas fueron muestreadas en secuencias aleatorias para minimizar los efectos de cambios temporales de corto plazo (Angulo et al. 2006).

Además de contar individuos, se tomaron variables ambientales por cada día de muestreo. Para el registro de temperatura mínima y máxima, precipitación y humedad relativa durante los muestreos, se usó los datos registrados por la estación meteorológica de Santa Rosa del Instituto Meteorológico Nacional.

Análisis de datos

Se utilizaron modelos lineales generalizados (GLMs) para relacionar las características de la carretera y la cantidad de bosque con la riqueza de especies y el número de especies atropelladas, para lo cual, se utilizó la función `glm` en R 3.2.3 (R Development Core Team 2015) y la función `gglm.nb` del paquete MASS (Venables y Ripley 2002), utilizando una función de enlace de tipo Poisson. Cada modelo se evaluó mediante los residuales de desviación y el Criterio de Información de Akaike (AIC), el cual se basa en el principio de parsimonia, que indica que un modelo debe ser tan simple como sea posible, con respecto a las variables incluidas, la estructura del modelo y el número de parámetros (Burnham y Anderson 2002). El conteo total de atropellos por parcela fue la variable dependiente, mientras que el porcentaje de bosque, porcentaje de pastos, porcentaje de charrales/tacotales, distancia a fuentes de agua y el porcentaje de uso

urbano fueron tomados como variables independientes. De igual manera se tomaron como variables independientes la temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio, humedad y precipitación.

RESULTADOS

Se encontraron patrones de mortalidad asociados a diferentes tipos de vegetación o uso del suelo presente en los alrededores de la parcela. Los registros de tortugas (*Kinosternon scorpiodes* y *Kinosternon leucostomum*), de serpientes (*Crotalus simus*, *Micrurus nigrocinctus*, *Porthidium ophryomegas*,) y de lagartijas (*Aspidoscelis deppei*, Teiidae) se agruparon en uno solo por la baja cantidad de individuos encontrados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de carcasas por especie encontradas en la Carretera Interamericana Norte según el tipo o los tipos de vegetación circundantes a la parcela.

COBERTURA PARCELA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	TOT
BS	2	0	0	0	10	0	2	35	0	0	5	54
CHT	0	1	0	1	6	0	0	39	3	1	2	53
CHT+BS	8	1	0	8	567	1	7	125	5	1	13	736
CHT+LAG+PASTO	0	0	0	0	79	0	0	13	0	0	1	93
CULTIVO	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
LAG+BS	5	0	0	1	0	1	1	2	2	0	1	13
PASTO	8	1	0	8	4	2	5	106	9	0	8	151
PASTO+BS	1	1	0	1	0	0	1	10	0	0	2	16
PASTO+CHT	10	1	0	4	10	0	6	73	8	1	11	124
PASTO+CHT+BS	0	0	0	0	0	0	0	10	2	0	1	13
PASTO+CULTIVO	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	5
PASTO+URB	1	0	0	0	9	0	1	3	1	0	1	16
PASTO+URB+CHT	0	0	0	0	10	0	0	3	1	0	0	14

Simbología: BS: bosque seco, CHT: charrales o tacotales, LAG: lagunas, URB: urbanizado. A: Anfibios sin id, B: *Ctenosaura similis*, C: *Iguana iguana*, D: *Incilius coccifer*, E: *Incilius luetkenii*, F: Lagartijas, J: *Lithobates forreri*, H: *Rhinella marina*. I: Serpientes J: Tortugas K: *Trachycephalus typhonius*.

La mortalidad de anfibios varió con algunos factores ambientales como la precipitación, la temperatura y la humedad relativa, mientras que no se observó alta influencia de estos factores en la mortalidad de reptiles. En cuanto a la precipitación, se observó que a medida que aumenta la lluvia, aumenta la mortalidad de anfibios (<500). La mortalidad de reptiles no varía según la precipitación, ya que se encontraron igual número de carcasas a baja precipitación y a alta precipitación (Fig. 9).

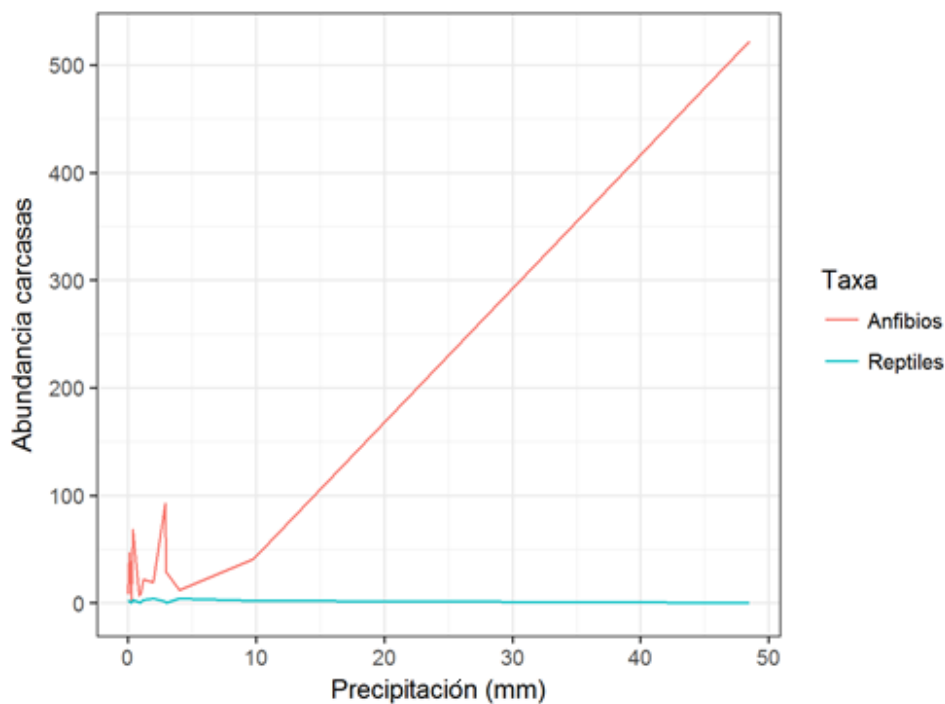


Figura 9. Número de carcasas de herpetofauna encontradas en la Carretera Interamericana Norte según la precipitación registrada en cada muestreo.

La humedad relativa también presentó el mismo patrón que la respuesta a la precipitación de ambos taxones. Los reptiles mantienen una mortalidad constante a pesar de la diferencia en la humedad, mientras que los anfibios poseen una mayor mortalidad en períodos más húmedos, especialmente a concentraciones mayores al 80% (Fig 10).

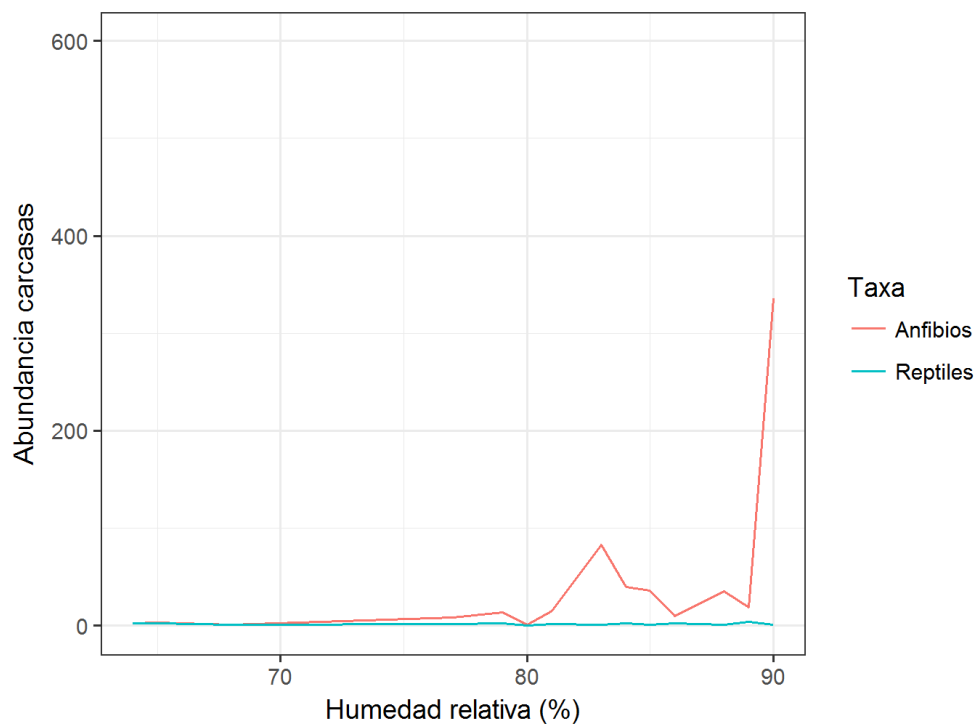


Figura 10. Número de carcasas de herpetofauna encontradas en la Carretera Interamericana Norte según la humedad relativa registrada en cada muestreo.

En el caso de la temperatura promedio se observa que la mayor mortalidad por atropellos de anfibios se da cuando la temperatura promedio se mantiene entre los 24 y los 25 °C. Los reptiles, al igual que en las anteriores comparaciones, no mostraron tendencia hacia las variables ambientales/ climáticas (Fig 11).

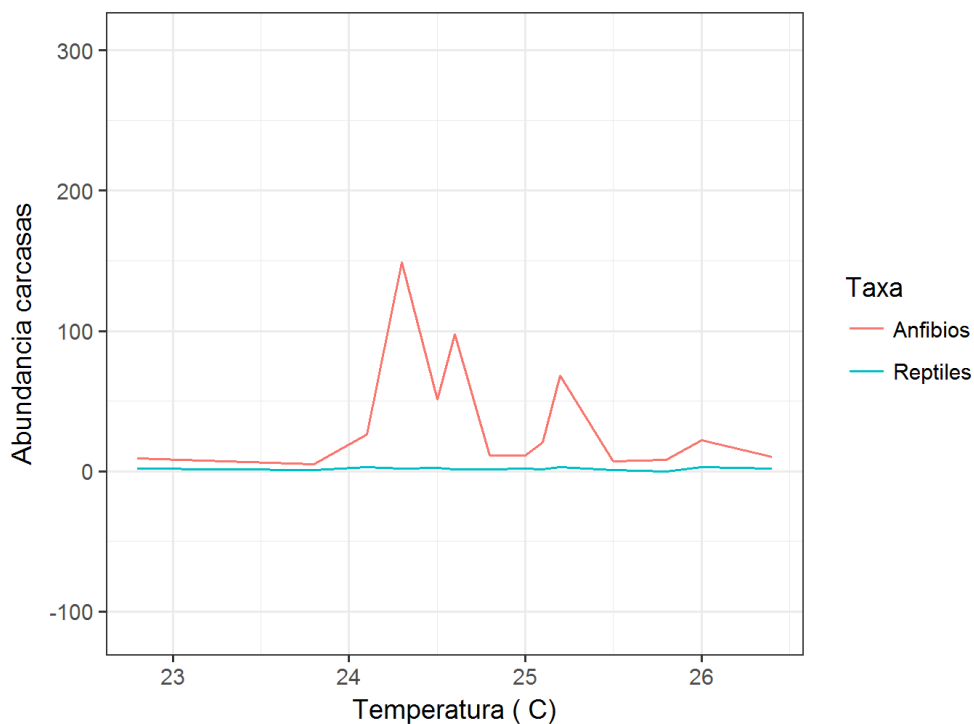


Figura 11. Número de carcacas de herpetofauna encontradas en la Carretera Interamericana Norte según la Temperatura diaria registrada en cada muestreo.

El modelo que consideró las variables: porcentaje de bosque seco circundante a la carretera, porcentaje de charrales y tacotales circundantes a la carretera y la distancia a fuentes de aguas permanentes o estacionales es el que presentó un mejor ajuste (QAICc=182.5631, df=4), por lo tanto, estas variables son las que tuvieron mayor influencia sobre la mortalidad de anfibios (Cuadro 3). Las variables referentes a la curvatura de la carretera, porcentaje de cultivos y porcentaje de zona urbana no mostraron una relación clara, por lo que no son factores importantes en la mortalidad de herpetofauna en este caso.

Cuadro 3. Modelos de regresión lineal generalizada con mejor ajuste para la variable “Abundancia de anfibios atropellados” en la Carretera Interamericana Norte.

Modelo	QAICc	Df	Peso
Mortalidad Anfibios~ 1+ %BS + %CHT + DFA(M)	182.5631	4	0,1264
Mortalidad Anfibios~ 1+%BS%CHT+DFA(M)+%P	184.05472	5	0,1206
Mortalidad Anfibios~ 1+%BS+%CHT+DFA(M)+%C	184.1538	3	0,1148
Mortalidad Anfibios~ 1+DFA(M)+%P	185.0980	3	0.07163
Mortalidad Anfibios~ 1+%BS+%CHT+DFA(M)+%P+%C	185.65315	3	0,05427
Mortalidad Anfibios~ 1	208.9859	-	654944e-07

Simbología: QAICc: Criterio de Información de Akaike, DF: Grados de libertad, BS: Bosque Seco, CHT: Charrales y Tacotales, DFA: Distancia a fuentes de agua, P: Pastos C: Cultivos.

La variable “Porcentaje de Bosque Seco”, mostró una asociación positiva con la mortalidad de anfibios, es decir que a mayor porcentaje de cobertura boscosa circundante a la carretera se registra mayor mortalidad de anfibios (Fig. 12)

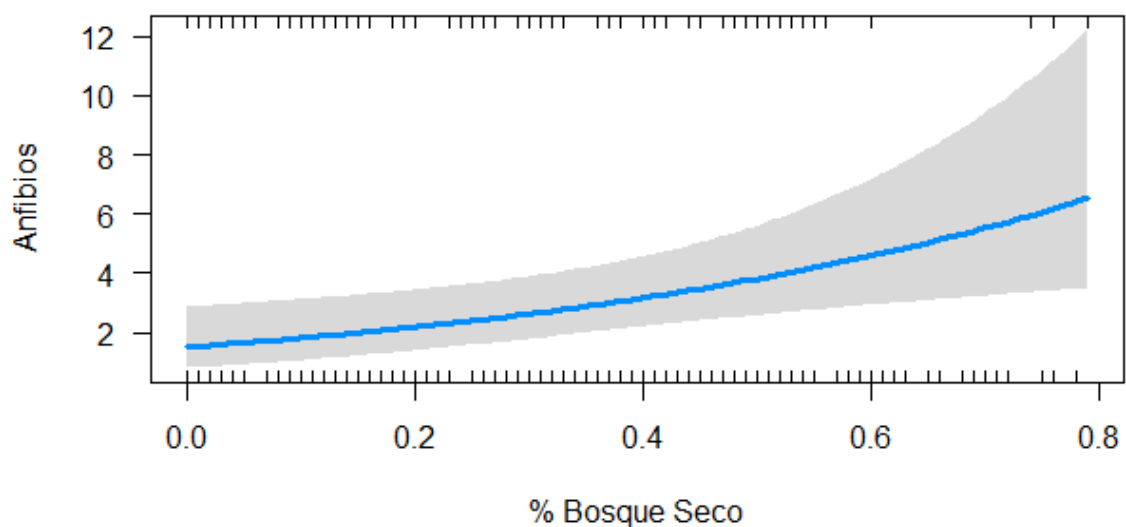


Figura 12. Relación entre el porcentaje de bosque seco circundante a la carretera y los atropellos de anfibios en un tramo de la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste, Costa Rica.

Al igual que el gráfico anterior (Fig. 12), la mortalidad de anfibios aumentó a medida que hay mayor porcentaje de charrales y tacotales. Las variables de “Porcentaje de Bosque seco” y “Porcentaje de Charrales y Tacotales” no son excluyentes entre sí, pues los buffer definidos alrededor de la carretera pueden contener ambos tipos de vegetación en igual o en diferente proporción (Cuadro 2).

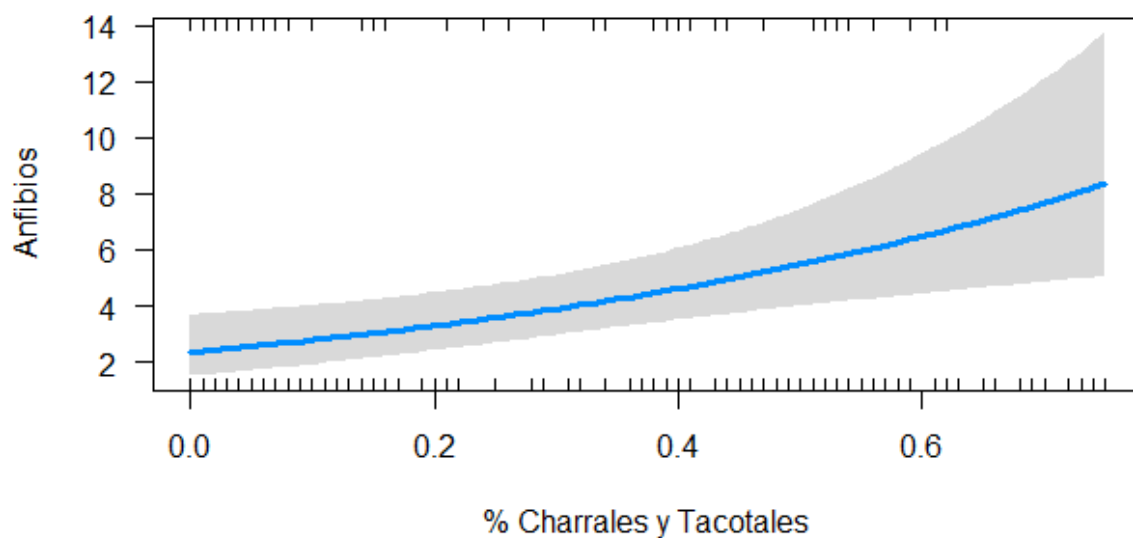


Figura 13. Relación entre el porcentaje de Charrales y Tacotales circundante a la carretera y los atropellos de anfibios en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.

La variable de distancia a fuentes de agua mostró que hay más registros de mortalidad de anfibios cuando hay fuentes de agua cercanas (Fig 14)

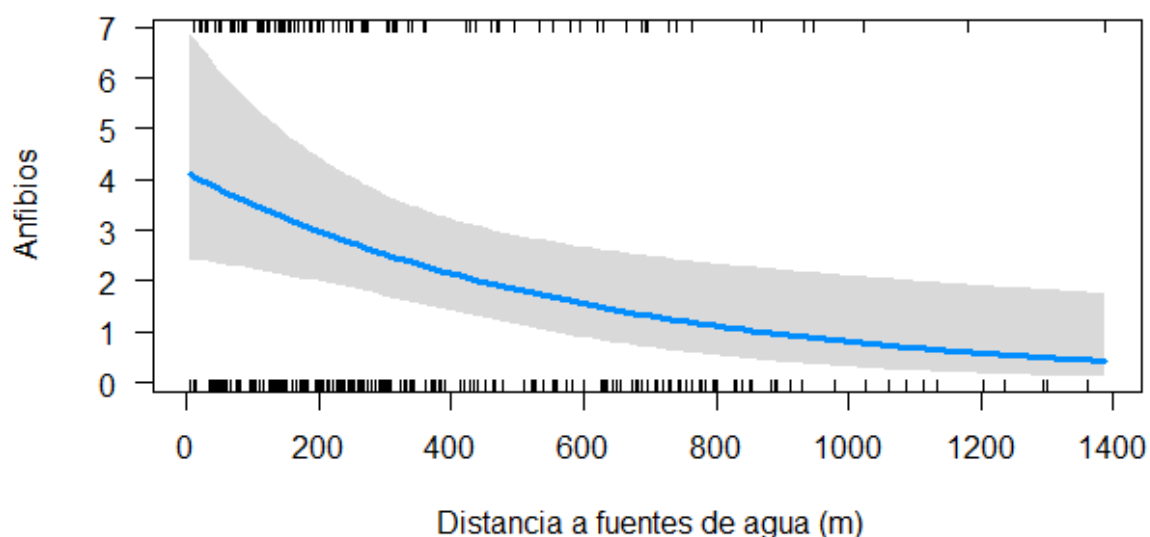


Figura 14. Relación entre la distancia de la carretera a fuentes de agua y los atropellos de anfibios en un sector de la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.

El modelo nulo fue el de mayor peso y menor valor QAICc. Seguido de este, el porcentaje de pastos fue la variable con mayor influencia sobre la mortalidad de reptiles (Cuadro 4). Al ser el modelo nulo el mejor explicado, todos los modelos de regresión concernientes a la mortalidad de reptiles obtuvieron un valor de QAICc y de ponderaciones similares (Cuadro 4). A pesar de esto, la mortalidad de reptiles se vio afectada ligeramente en su mayor parte por el porcentaje de pastos que hay alrededor de la carretera (Fig. 15). Es posible que los resultados de este análisis puedan variar con un incremento en el tamaño de muestra (Cuadro 3).

Cuadro 4. Modelos de regresión lineal generalizada con mejor ajuste para la variable “Abundancia de reptiles atropellados” en la Carretera Interamericana Norte.

Modelo	QAICc	Df	Peso
Mortalidad Reptiles~ 1+ %P	19.48723	4	0.0687
Mortalidad Reptiles~ 1+DFA(M)	19.53357	5	0.0671
Mortalidad Reptiles~ 1+%CHT	19.57164	3	0.0658
Mortalidad Reptiles~ 1+%BS	19.59723	3	0.0650
Mortalidad Reptiles~ 1+ %C	19.64333	3	0.0635
Mortalidad Reptiles ~1	17.64666	-	0.1725

Simbología: BS: Bosque Seco, CHT: Charrales y Tacotales, DFA: Distancia a fuentes de agua, P: Pastos C: Cultivos.

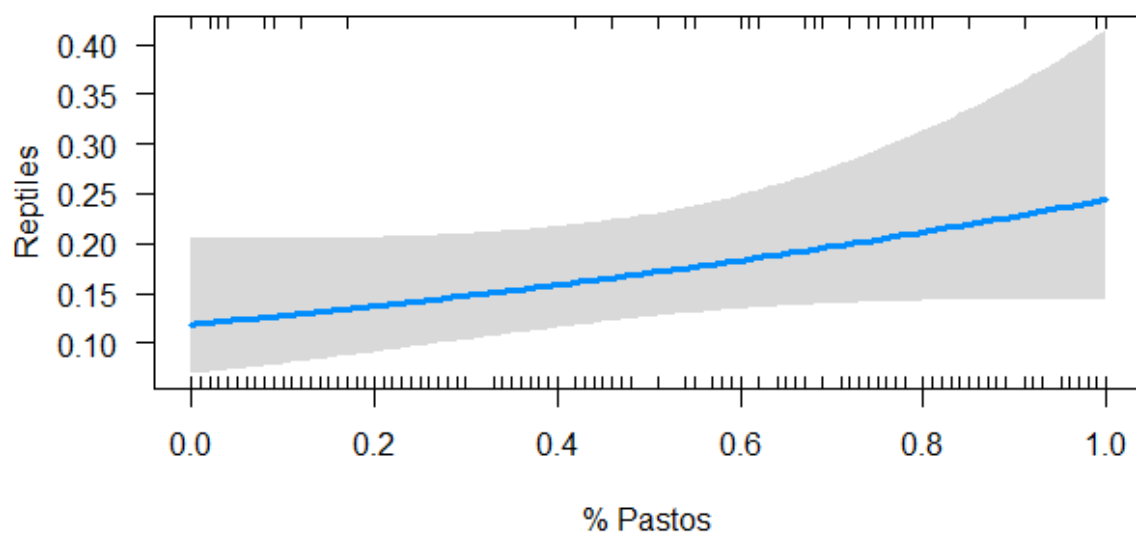


Figura 15. Relación entre el porcentaje de pastos y los atropellos de reptiles en un sector de la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste Costa Rica.

DISCUSIÓN

A pesar que diversos estudios sugieren que el uso del suelo es un factor determinante en el incremento de atropellos (Orlowski et al. 2008), en este estudio se muestra que el uso del suelo influye sobre la muerte de determinadas especies, mas no necesariamente en la abundancia de la misma (Cuadro 2). La cobertura vegetal, los lagos y las lagunas son los factores que afectan mayormente la abundancia y la probabilidad de alta mortalidad de anfibios (Glista et al. 2007, y Langen et al. 2009). Como se puede ver en el capítulo 3, los puntos de mayor mortalidad y por lo tanto, los más vulnerables (en colores rojo y naranja) son propiciados por la cercanía a fuentes de agua en donde se da la reproducción estacional de *Incilius luetkenii* e *Incilius coccifer*. Ambas especies poseen tolerancia a áreas abiertas y áreas perturbadas, aunque se pueden encontrar también bajo cobertura boscosa (Savage 2002). Los anfibios que se reproducen en fuentes de agua se pueden mover hasta más de 1 km de distancia desde ese sitio (Patrick et al. 2006), además de contemplar las fuentes de agua se deben tomar en cuenta sus alrededores. Además de la reproducción, la mayoría de anfibios requieren estas fuentes de agua y condiciones de humedad para la metamorfosis de sus huevos y para el mantenimiento de su propia hidratación (Pough et al. 2007).

Se puede observar que el punto más crítico (mayor densidad de atropellos, ver capítulo 3) coincide con la presencia de dos lagos de tamaño significativo (Anexo C, Anexo D). Dichas lagunas tienen una distancia aproximada de 450 metros con el punto de máxima mortalidad (capítulo 3) y de 50 metros con un segundo punto de alta mortalidad (capítulo 3). La reproducción en estas lagunas puede estar generando un alto movimiento por especies de reproducción explosiva como *Trachycephalus typhonius*, *I. luetkenii* e *I. coccifer*, mas este desplazamiento es interrumpido por la presencia de la Carretera Interamericana, la cual genera atropellos y con esto, se puede llegar a disminuir la tasa de éxito de reproducción (Carr y Fahrig 2001).

Paralelamente a la ubicación de estas fuentes de agua, existe una inminente importancia de la época lluviosa. Al igual que Shepard et al. (2008) y Santos et al. (2011), los factores ambientales como la humedad y la precipitación fueron variables influyentes en la mortalidad de la herpetofauna. La lluvia crea pequeñas charcas estacionales utilizadas para la reproducción y es una señal que activa el movimiento de las especies después de que pasan por periodos de estivación durante la época seca (Hilje y Árevalo-Huezo, 2012). Muchos de los anfibios que se reproducen en charcos y lagunas son parte de una metapoblación (Rothermel y Semlitsch 2002). Si algunas de las especies registradas en este estudio tienen un comportamiento del tipo metapoblacional pueden

verse afectadas, ya que el hecho que la carretera aisle los estanques o lagunas de reproducción provoca que se afecten las tasas de recambio entre la metapoblación y aumenten las probabilidades de propiciar una extinción local (Marsh y Trenham 2001).

Las secciones de la carretera con mayor mortalidad anfibia coinciden con áreas de bosque seco o charrales y tacotales, los cuales cuentan con coberturas vegetales mayores al 50%. Existen gran cantidad de parches de diferente naturaleza de uso en donde vegetación boscosa nativa, cultivos agrícolas y vegetación en sucesión coexisten, con lo que brindan hábitats heterogéneos que generan una alta diversidad de especies (Atauri y de Lucio 2001). Hay diferencias en la evapotranspiración que hay entre los diferentes tipos de vegetación de cada sistema y con esto, varía la humedad y por ende el microclima en cada sitio, factor determinante para los anfibios (Kerr y Packer 1997). Además, en cada sistema se cumplen diferentes requerimientos alimenticios de cada especie y con esto, diferentes extensiones de la cadena trófica (Atauri y de Lucio 2001).

A pesar que las áreas de cultivo tienen baja influencia sobre los anfibios y reptiles, se encontraron algunas especies generalistas como *Rhinella marina*, *Ctenosaura similis* y *T. typhonius* atropelladas en este uso del suelo. Estas especies pueden habitar o bien tolerar el tránsito por este tipo de ambiente gracias a la fisiología de su piel, que si bien es propenso a la desecación, tiene mayor resistencia a esta que otras especies de su clase, como los ránidos (Kolozyvary y Swihart 1999). *T. typhonius* es una especie que habita desde bromelias y agujeros de árboles hasta vainas de cultivos y estanques temporales (Savage 2002), por lo que no sorprende encontrarla en los sitios de cobertura boscosa y de pastos también. Las especies más especialistas son atropelladas cerca de usos del suelo más específicos, como *I. luetkenii*, la cual fue atropellada en las cercanías de parcelas que cuentan con cobertura vegetal de bosque o charrales y tacotales.

En el caso de los reptiles, todos los modelos de regresión concernientes a la mortalidad de reptiles obtuvieron un valor de QAICc y de ponderaciones similares, y el modelo nulo fue el más ajustado. Es posible que esto se deba a la poca abundancia detectada por cada especie de reptil, lo cual puede repercutir en el modelo de mejor ajuste y no detectar tendencias o patrones de distribución claros. Con un mayor número de muestra se podría determinar si realmente se está dando un fenómeno azaroso en la mortalidad de reptiles o si hay una influencia real del uso del suelo circundante a la carretera. Aun así, se puede ver que en el segundo modelo hay una leve influencia de los pastizales sobre la mortalidad. Los presentes resultados concuerdan con lo reportado por França y Braz (2013) en el Cerrado Brasileño; quienes determinaron que en contraste con los anfibios y aves, la mayoría de los reptiles y mamíferos pequeños están asociados

con áreas abiertas y la mayoría de las serpientes se encuentran en pastizales o sabanas abiertas. Muchos reptiles utilizan los pastizales porque estos albergan una cantidad de presas considerables como pequeños vertebrados e invertebrados, especialmente insectos (Valenciaga y Mora 2007). Muchas especies de reptiles son adaptables a diferentes tipos de cobertura, como *P. ophryomegas* y *B. constrictor* las cuales se alimentan de roedores, por lo que pueden encontrarse tanto en pastizales como en coberturas boscosas.

Aunque en general se considera que los bosques son el hábitat más óptimo para forrajear, hibernar y moverse para muchos anfibios, las áreas abiertas para anfibios generalistas y los reptiles en general deben ser consideradas en estrategias para su conservación, especialmente en presencia de factores amenazantes como lo es la carretera. Así como lo plantea Torres (2011), el hecho de que dentro del ACG existan áreas en las cuales existe mayor conectividad haría pensar que las decisiones de conservación deberían concentrarse en esas áreas (sur del ACG). Sin embargo, existen hábitats diversos en diferentes etapas de sucesión que pueden estar siendo usados de forma diferente por las especies.

La heterogeneidad del paisaje va a afectar la diversidad según el grupo y la dispersión que tengan, pero para obtener resultados más específicos en cuanto a la respuesta de la herpetofauna, deben contemplarse factores a escalas más finas como la composición de la vegetación, las charcas temporales y la cantidad de presas en los sitios (Atauri y de Lucio 2001). Muchos de los "hotspots" de anfibios pueden ser obviados si se toma únicamente la composición de los usos del suelo como determinante, ya que muchas de las charcas temporales no son cuantificables fácilmente y por ende no se podrían atribuir como variable que afecta la mortalidad sin un estudio previo que las identifique individualmente. Por lo tanto, las especies que pueden reproducirse en cualquier acumulación de aguas poco profundas tendrán menos "hotspots" que aquellas que se reproducen en estanques o arroyos (Colino-Rabanal y Lizana 2012).

Por último, la variable de la curvatura de la carretera no influyó en un grado mayor sobre la mortalidad de herpetofauna, a pesar que se ha documentado que las colisiones de vehículos con la vida silvestre ocurren típicamente cuando se obstruye la visibilidad ya sea por curvatura de la carretera (Bashore et al. 1985) o distancia de la línea de visión (Barrientos y Bolonio 2009), por lo que al aumentar la visibilidad a lo largo de las carreteras se disminuyen las colisiones. Sin embargo, a pesar de que la visibilidad aumenta a lo largo de secciones rectas de la carretera, el riesgo de colisión aumenta

porque los automovilistas viajan normalmente a velocidades más altas (Barrientos y Bolonio 2009).

LITERATURA CITADA

- Alvarez-Rubio, B., Amezcua–Linares, F., y Álvarez–Rubio, M. 1990. Análisis de la diversidad, amplitud y traslape de nicho en la comunidad de peces del sistema Teacapán–Agua Brava, Nayarit, México. *Anuales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM Vol. 17: 215-240.
- Andrews, K. M., Nanjappa, P., y Riley, S. P. (Eds.). 2015. *Roads and ecological infrastructure: concepts and applications for small animals*. JHU Press.
- Aresco, M. J. 2005. Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a north Florida lake. *Journal of Wildlife Management*, 69(2): 549-560.
- Atauri, J. A., y de Lucio, J. V. 2001. The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes. *Landscape ecology*, 16(2): 147-159.
- Barrientos, R., y Bolonio, L. 2009. The presence of rabbits adjacent to roads increases polecat road mortality. *Biodiversity and Conservation*, 18(2): 405-418.
- Bashore, T. L., Tzilkowski, W. M., y Bellis, E. D. 1985. Analysis of deer-vehicle collision sites in Pennsylvania. *The Journal of Wildlife Management*, 769-774.
- Braz, V., y França, F. 2016. Wild vertebrate roadkill in the Chapada dos Veadeiros National Park, Central Brazil. *Biota Neotropica*, 16(1), e0182. Epub January 12, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2014-0182>
- Burnham, K. P. y D. R. Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. Springer. Science y Business Media.
- Carr, L. W., y L. Fahrig. 2001. Effect of road traffic on two amphibian species of differing vagility. *Conservation Biology* 15:1071–1078.
- Coelho, I. P., Teixeira, F. Z., Colombo, P., Coelho, A. V. P., y Kindel, A. 2012. Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of environmental management*, 112: 17-26.
- Colino-Rabanal, V. J., y Lizana, M. 2012. Herpetofauna and roads: a review. *Basic and Applied Herpetology*, 26: 5-31.
- Fahrig L, y Rytwinski, T. 2009. Effects of roads on animal abundance; an empirical review and synthesis. *Ecology and society* 14:21. <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art21/>

- Fahrig, L., Pedlar, J. H., Pope, S. E., Taylor, P. D., y Wegner, J. F. 1995. Effect of Road Traffic on Amphibian Density. *Biological Conservation* (73): 177-182.
- Findlay, C. S., y Houlahan, J. 1997. Anthropogenic correlates of species richness in southeastern Ontario wetlands. *Conservation biology*, 11(4): 1000-1009.
- Garrah, E., Danby, R. K., Eberhardt, E., Cunnington, G. M., y Mitchell, S. 2015. Hot spots and hot times: wildlife road mortality in a regional conservation corridor. *Environmental management*, 56(4): 874-889.
- Gomes, L., Grilo, C., Silva, C., y Mira, A. 2009. Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecological Research*, 24(2): 355-370.
- Guerry, A. D., y Hunter, M. L. 2002. Amphibian distributions in a landscape of forests and agriculture: an examination of landscape composition and configuration. *Conservation Biology*, 16(3): 745-754.
- Gunson, K. E., Mountrakis, G., y Quackenbush, L. J. 2011. Spatial wildlife-vehicle collision models: A review of current work and its application to transportation mitigation projects. *Journal of environmental management*, 92(4): 1074-1082.
- Heigl, F., Horvath, K., Laaha, G., y Zaller, J. G. 2017. Amphibian and reptile road-kills on tertiary roads in relation to landscape structure: using a citizen science approach with open-access land cover data. *BMC Ecology*, 17, 24.
<http://doi.org/10.1186/s12898-017-0134-z>
- Herrmann, H. L., Babbitt, K. J., Baber, M. J., y Congalton, R. G. 2005. Effects of landscape characteristics on amphibian distribution in a forest-dominated landscape. *Biological Conservation*, 123(2): 139-149.
- Hilje, B. y Arévalo-Huezo, E. 2012. Aestivation in the Cane Toad *Rhinella marina* Linnaeus, 1758 (Anura, Bufonidae) during the peak of a dry season in a tropical dry forest, Costa Rica. *Herpetology Notes*, volume 5: 533-534
- Houlahan, J. E., Findlay, C. S., Schmidt, B. R., Meyer, A. H., y Kuzmin, S. L. 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature*, 404(6779), 752.
- Jochimsen, D. M., C. R. Peterson, K. M. Andrews, y J. W. Gibbons. 2004. A literature review of the effects of roads on amphibians and reptiles and the measures used to minimize those effects. Idaho Fish and Game Department, Boise.

- Kerr, J. T., y Packer, L. 1997. Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high-energy regions. *Nature*, 385 (6613):252.
- Kolozsvary, M. B., y Swihart, R. K. 1999. Habitat fragmentation and the distribution of amphibians: patch and landscape correlates in farmland. *Canadian Journal of Zoology*, 77(8): 1288-1299.
- Langen T.A., Gunson K.E., Scheiner C.A., Boulerice J.T. 2012. Road mortality in freshwater turtles: identifying causes of spatial patterns to optimize road planning and mitigation. *Biodivers Conserv* 21(12):3017–3034
- Langen, T. A., Ogden, K. M., y Schwarting, L. L. 2009. Predicting hot spots of herpetofauna road mortality along highway networks. *Journal of Wildlife Management*, 73(1): 104-114.
- Knutson, M.G., Sauer, J.R., Olsen, D.A., Mossman, M.J., Hemesath, L.M., Lannoo M.J. 1999. Effects of landscape composition and wetland fragmentation on frog and toad abundance and species richness in Iowa and Wisconsin, USA. *Conservation Biology*, 13: 1437-1446.
- Marsh, D. M., y Trenham, P. C. 2001. Metapopulation dynamics and amphibian conservation. *Conservation biology*, 15(1): 40-49.
- Orlowski, G., Ciesiolkiewicz, J., Kaczor, M., Radwanska, J., y Zywicka, A. 2008. Species composition and habitat correlates of amphibian roadkills in different landscapes of south-western Poland. *Polish Journal of Ecology*, 56(4): 659-671.
- Patrick, D. A., Hunter, M. L., y Calhoun, A. J. 2006. Effects of experimental forestry treatments on a Maine amphibian community. *Forest Ecology and Management*, 234(1): 323-332.
- Pough, H.F. 2007. Amphibian biology and husbandry. *ILAR journal*, 48(3): 203-213.
- Quintero-Ángel, A., Osorio-Dominguez, D., Vargas-Salinas, F., y Saavedra-Rodríguez, C. A. 2012. Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. *Herpetology Notes*, 5: 99-105.
- Rothermel, B. B. 2004. Migratory Success of Juveniles: A Potential Constraint On Connectivity For Pond-Breeding Amphibians. *Ecological Applications*, 14(5): 1535-1546.

- Rothermel, B. B., y Semlitsch, R. D. 2002. An experimental investigation of landscape resistance of forest versus old-field habitats to emigrating juvenile amphibians. *Conservation biology*, 16(5): 1324-1332.
- Santos, X., Llorente, G. A., Montori, A., Carretero, M. A., Franch, M., Garriga, N. y Richter-Boix, A. 2007. Evaluating factors affecting amphibian mortality on roads: the case of the Common Toad *Bufo bufo*, near a breeding place. *Animal Biodiversity and Conservation*, 30.1: 97–104
- Santos, S. M., Carvalho, F., y Mira, A. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. *PLoS One*, 6(9), 25383.
- Savage, J. M. 2002. The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas. University of Chicago press.
- Schwarzkopf, L., y Alford, R. A. 2002. Nomadic movement in tropical toads. *Oikos*, 96(3): 492-506.
- Semlitsch, R. D. 2002. Critical elements for biologically based recovery plans of aquatic-breeding amphibians. *Conservation biology*, 16(3): 619-629.
- Semlitsch, R. D., y Bodie, J. R. 1998. Are small, isolated wetlands expendable? *Conservation biology*, 12(5): 1129-1133.
- Seo, C., Thorne, J. H., Choi, T., Kwon, H., y Park, C. H. 2015. Disentangling roadkill: the influence of landscape and season on cumulative vertebrate mortality in South Korea. *Landscape and ecological engineering*, 11(1): 87-99.
- Shepard, D. B., Kuhns, A. R., Dreslik, M. J., y Phillips, C. A. 2008. Roads as barriers to animal movement in fragmented landscapes. *Animal Conservation*, 11(4): 288-296.
- Snodgrass, J. W., Komoroski, M. J., Bryan, A. L., y Burger, J. 2000. Relationships among isolated wetland size, hydroperiod, and amphibian species richness: implications for wetland regulations. *Conservation biology*, 14(2): 414-419.
- Torres, L. 2011. Funcionalidad de estructuras subterráneas como pasos de fauna en la Carretera Interamericana Norte que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Valenciaga, N., y Mora, C. (2007). Una nota sobre los insectos fitófagos que conviven en áreas de pastizales altamente invadidas de espartillo (*Sporobolus indicus*). Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 41(3).

Walker, B. H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. Conservation biology, 6(1): 18-23.

CAPÍTULO III: SITIOS DE ALTA MORTALIDAD, PROPUESTAS DE MITIGACIÓN Y ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN PARA HERPETOFAUNA EN LA CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, GUANACASTE, COSTA RICA.

RESUMEN

En Costa Rica, la Carretera Interamericana Norte actualmente enfrenta un proceso de ampliación. Esta carretera atraviesa distintas zonas del Área de Conservación Guanacaste, la cual alberga una alta biodiversidad de herpetofauna, y por ende, una gran mortalidad por atropello de individuos en la carretera. Para determinar los sitios de alta mortalidad de herpetofauna y su relación con las características del paisaje, se contabilizaron y georreferenciaron las carcacas de herpetofauna encontradas en los meses de agosto a diciembre del 2016 y enero y febrero del 2017, utilizando muestreos en vehículo y parcelas en la carretera. Se utilizó la densidad de Kernel, con el software KDE®, para determinar los sitios de alta mortalidad (“hotspots”) de la herpetofauna utilizando los daos de mortalidad. Se hicieron 55 encuestas a los conductores para conocer su percepción sobre la carretera (ampliación de la carretera, señalización etc.). Se determinaron 32 puntos de alta mortalidad, con diferentes niveles de mortalidad según el número de muertes ocurridos en cada uno de los sitios. Los puntos de mayor mortalidad se encontraron en el sector conocido como Guacalito. Un 51% de los encuestados apoyaría una eventual ampliación, mientras que un 49% no la considera necesaria. Basado en los resultados y datos de la literatura, se recomienda la instalación de alcantarillas con barreras de desvío en los sitios de alta mortalidad según su prioridad. Se sugiere a las entidades gubernamentales utilizar las recomendaciones planteadas en este estudio para aumentar las probabilidades de éxito en la construcción de estructuras que disminuyan la elevada mortalidad de anfibios y reptiles del sitio.

INTRODUCCIÓN

En general, las carreteras han sido consideradas como obras que representan un beneficio social y económico, por la relación positiva entre la disponibilidad de vías de comunicación terrestre y el nivel de desarrollo de la población (Arroyave et al. 2006). Una de las carreteras más importantes a nivel latinoamericano es la Carretera Interamericana, la cual cuenta con una longitud de 5.390 kilómetros y forma parte de la Carretera Panamericana, que va desde Nuevo Laredo, México, hasta la ciudad de Panamá, Panamá (WDL 2013). Costa Rica cuenta con los segmentos Norte y Sur de la Carretera Interamericana, los cuales comunican con Nicaragua y Panamá respectivamente. Debido a los beneficios que se obtienen mediante el buen mantenimiento de carreteras y caminos, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) ha destacado como prioritario la construcción de obras viales. Entre éstas, se encuentra la ampliación a cuatro carriles de la Interamericana Norte, un corredor estratégico para el país y la región Mesoamericana que permitiría hacer más expedito el traslado de mercancías desde México hasta Panamá (Villalobos 2010). Esta ampliación favorecería a agricultores, exportadores nacionales y al sector turístico, el cual ocupa el primer lugar en cuanto a ingreso de divisas para el país (Benavides-Vindas 2005). La ampliación a cuatro carriles inició en el 2012 con el sector Cañas -Liberia a través de un préstamo del BID por 300 millones de dólares (Nación 2016). Comprende 4 carriles en concreto, 12 retornos, 52 bahías para autobús, 11 puentes peatonales, 1 ciclovia y no menos importante, 16 pasos de fauna: 7 arborícolas y 9 terrestres (MOPT 2016).

Los pasos de fauna silvestre son un método de mitigación que han surgido por la alta mortalidad de vida silvestre por colisiones con vehículos, las cuales afectan tanto a la vida silvestre como a la seguridad humana (Beckmann et al. 2010). Debido a que financieramente no es factible para la mayoría de los gobiernos crear estrategias de manejo de la carretera a lo largo de toda la carretera, es necesario elegir los lugares donde la aplicación de estas medidas será más eficaz y eficiente; y por ende optimizar el número de vidas salvadas a un costo tan bajo como sea posible (Gómez et al. 2009). Para este fin, los ecólogos de carreteras han utilizado localizaciones georreferenciadas de accidentes con vida silvestre para determinar si existen patrones de mortalidad a lo largo de las carreteras (Puglisi et al. 1974, Krisp y Durot, 2007, Ramp et al. 2005, Mountrakis y Gunson 2009). Estos análisis han indicado que la mortalidad a lo largo de las carreteras no son acontecimientos al azar, sino que se agrupan espacialmente para la mayoría de especies de vertebrados (Gunson et al. 2010). A estas agrupaciones se les

llaman “hotspots” o sitios de alta mortalidad, y sirven para determinar que sitios pueden ser los más efectivos a la hora de construir la mitigación.

La mitigación no puede ser aplicable para todos los taxones en general, pues las especies utilizan diseños de estructura de manera diferente (Clevenger y Waltho 2000). Es necesario que estas medidas de mitigación sean dirigidas a las especies cuyas poblaciones son las más afectadas por la mortalidad vial, como los reptiles y los anfibios (Souza et al. 2015, Smith y Dodd 2003, Cunnington et al. 2014). Esta elevada mortalidad puede ser explicada, por que algunos anfibios y reptiles permanecen inmóviles ante la aproximación de vehículos (Mazerolle 2004) y, no sienten la carretera como un sitio de peligro y utilizan la carretera para la termorregulación (Andrews et al. 2015). Además, al ser animales nocturnos disminuye la detección por parte de los conductores (Cunnington et al. 2014) y al ser más lentos que los mamíferos, aumentan su probabilidad de ser atropellados (Niemi et al. 2014). Estas especies son a menudo consideradas como de bajo perfil, mas (Shwiff et al. 2007) estimaron que el atropello de 64 reptiles y anfibios por año deja pérdidas de conservación hasta de \$ 32,000 al año, y hay estimaciones económicas hacia los valores de especies en peligro de extinción o amenazadas que han sido considerados "incalculables" en la jurisprudencia del Tribunal Supremo de los Estados Unidos (Tennessee Valley Authority vs. Hill, 1978 en Shwiff et al. 2007).

A pesar que se han encontrado patrones espaciales de alta mortalidad por colisión con vehículos, algunos autores recomiendan que este no es el único factor que se debe tomar en cuenta a la hora de determinar la ubicación de las estructuras de mitigación (Eberhardt et al. 2013, Zimmermann et al. 2017, Malo et al. 2004). Las localidades donde hay registros de mortalidad proveen información limitada del movimiento, y por esto Beckmann et al. (2010) sugieren que además de tener datos de mortalidad se deben recopilar fotos aéreas, mapas de cobertura vegetal, mapas topográficos, mapas de idoneidad de hábitat y de movimiento de especies; además de entender el paisaje y utilizarlo como una herramienta adicional. Teniendo claro el panorama actual, las decisiones de gestión e implementación acciones para reducir las pérdidas económicas y biológicas son inminentes y deben ser planificadas rigurosamente.

Por estas razones, los objetivos de este estudio fueron: a) determinar sitios de alta mortalidad de anfibios y reptiles en la Carretera Interamericana Norte que atraviesa el ACG, b) conocer la opinión de los transportistas que transitan estas carreteras sobre la ampliación de la misma y la señalización, c) proponer estrategias de mitigación con sus debidas recomendaciones para mitigar las muertes de anfibios y reptiles que circundan la Carretera Interamericana y el Área de Conservación Guanacaste.

AREA DE ESTUDIO

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) se encuentra ubicada en el extremo noroeste de la Provincia de Guanacaste, entre los cantones de Liberia y la Cruz. Cuenta con una extensión de 163.000 hectáreas de Área Silvestre Protegida (ACG 2012) entre las que se ubican el Parque Nacional Guanacaste y el Parque Nacional Santa Rosa. El ACG cuenta con una gran diversidad de ecosistemas, incluyendo bosque húmedo, bosque nuboso, bosque seco en diferentes etapas de regeneración, manglar y zona marino-costera (ACG 2012), (Fig. 16). En este bloque biogeográfico que representa aproximadamente el 2% del país y el 13% de la provincia de Guanacaste se encuentran aproximadamente 335.000 especies de organismos terrestres, lo que equivaldría a un 2.6 % de la biodiversidad mundial (ACG 2012).

En el tramo de la Carretera Interamericana que atraviesa el Área de Conservación Guanacaste (ACG), Sáenz y Langen (com pers) identificaron varios pasos no específicos de fauna (alcantarillas). Estas estructuras varían en su forma, material de construcción y longitud, así como también, en el número de accesos en cada paso y son utilizados por diversas especies de fauna silvestre (Torres 2011).

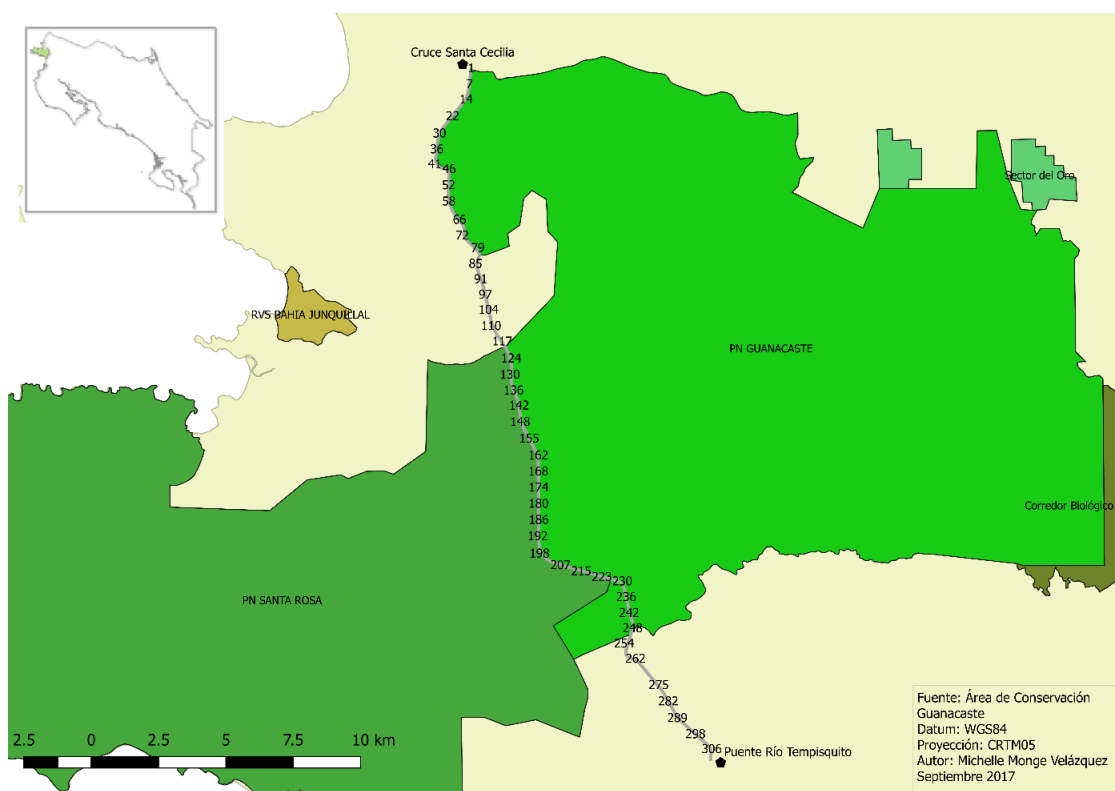


Figura 16. Sitio de estudio. Segmento de la Carretera Interamericana que biseca el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. Los números representan las parcelas de muestreo.

METODOLOGÍA

Contabilización de atropellos

Para el conteo de mortalidad por atropello de la herpetofauna en la carretera que cruza el ACG se usaron dos metodologías:

1) Recorrido en vehículo: Para cuantificar la cantidad de especies e individuos de herpetofauna se recorrió la carretera en un vehículo con dos observadores a cada lado del vehículo (Langen et al. 2007). La colecta de datos se realizó recorriendo la carretera a una velocidad de 25 km/hora, cada vez que se encontró un animal muerto en la vía, ambos observadores bajaron del vehículo, registraron la posición del cadáver con un GPS y se procedió a identificar la especie y anotarlo en el cuadro de registros (Anexo A). Este procedimiento se realizó cada 15 días (2 veces por mes) por tres o cuatro días consecutivos. Para evitar el conteo doble se removieron las carcassas del sitio de colisión. El horario de muestreo de cada día se dio en dos bloques de tiempo, crepuscular (de 5 a 7 am) y nocturno (de 8 a 10 pm).

2) Conteo en parcelas: Posterior al muestreo en vehículo y durante el día se procedió a registrar los individuos atropellados que no fueron detectados desde el vehículo. Para cual, la carretera se dividió en 306 parcelas de 100 m de longitud y ocho metros de ancho. El muestreo se realizó bajo el esquema de muestreo aleatorio sistemático, en el que se eligió al azar un número de inicio de forma alternativa en cada uno de los extremos de la carretera ; para ello se consideró números del 1 a 30, donde cada número representó 100 metros, que sumados dieron en total 3000 metros (3 km). Una vez elegido el número (ej: 23, significó que el punto de inicio del muestreo comenzó a 2300 metros del punto de inicio) ese punto fue considerado como el centro de la parcela y, a partir de este si midieron 50 metros a cada lado de dicho punto, por lo tanto, cada parcela tuvo 100 metros de largo por 8 metros en promedio. Las parcelas siguientes se ubicaron cada 3 kilómetros, para un total de 10 parcelas. Las parcelas fueron revisadas por dos personas las cuales van registrando todas las especies de anfibios y reptiles muertos, recientes o de días anteriores.

Se contabilizaron todos los anfibios y reptiles dentro de la parcela, así como las especies a las que pertenecieron. Como en método del vehículo, todas las carcassas fueron removidas de la parcela para evitar doble conteo. El centro de la parcela fue registrada con un GPS, y este centro fue considerado como el punto de colisión o muerte de todos los individuos encontrados en la parcela. Posteriormente, para los análisis se aplicó un

índice expresando el número de animales observados muertos por kilómetro recorrido. Las parcelas fueron muestreadas en secuencias aleatorias para minimizar los efectos de cambios temporales de corto plazo (Angulo et al. 2006)

Determinación de Centros de Alta Mortalidad

La determinación de los sitios de alta mortalidad se hizo mediante la estimación de densidad de Kernel, la cual es una técnica que identifica los conglomerados buscando concentraciones de muertes (Gitman y Levine 1970). El ancho de la función del núcleo (es decir, el área de influencia de cada función del núcleo o anchura de banda) elegido para este análisis fue de 150 m. Se utilizó todo el set de datos tanto de anfibios como reptiles en el análisis. La elección del ancho de banda se hizo teniendo en cuenta una escala razonable en la que se podrían tomar medidas de mitigación (Ramp et al. 2005). La estimación de los sitios de alta mortalidad del conglomerado de especies atropelladas se generó utilizando el software KDE + (Bil et al. 2013).

Encuestas a conductores

Se aplicaron 55 encuestas abiertas para conocer la opinión de los diferentes transportistas que transitan por el Área de Conservación Guanacaste. Dichas encuestas se aplicaron a conductores de vehículos livianos (n=37), pesados (n=13) y transportistas públicos (n=5) que transitaron por el puesto policial ubicado en Cuajiniquil de Guanacaste. Con ayuda de la fuerza pública se detuvieron los vehículos y se les solicitó acceder a una breve encuesta. Se dio un breve contexto sobre la posible ampliación de la carretera por parte del MOPT y posteriormente se realizaron las encuestas. La encuesta constó de las siguientes preguntas: 1) Teniendo en cuenta su experiencia en como conductor en esta carretera (densidad de autos, estructura de la carretera, etc.) ¿Considera necesaria la ampliación a cuatro carriles? 2) De ser afirmativo, ¿Por qué opina que es necesaria la ampliación? De ser negativo, ¿Por qué piensa que no se debe ampliar la carretera? 3) ¿Ha observado alguna señal de tránsito relacionada con vida silvestre a lo largo de la carretera? Los participantes no recibieron incentivo alguno por su participación.

Propuesta de mitigación

Se utilizó el esquema de estándares abiertos y su software Miradi® tomando como objeto de conservación a la comunidad de anfibios y reptiles que habitan en las cercanías de la Carretera Interamericana Norte. Se identificaron las principales amenazas y los factores que influyen sobre estas para así establecer las principales estrategias para mitigar el efecto de la carretera sobre el objeto de conservación. De igual manera se hizo una revisión de literatura en la plataforma Google Scholar y, se seleccionaron artículos científicos los cuales tuvieran entre sus palabras clave alguna de las siguientes: “Roadkill”, “Culverts”, “Mitigation”, “Road effects”, “Road ecology” y “Hotspots”.

Análisis de datos

Para la determinación de los centros de alta mortalidad se analizó un set de mortalidad de 1300 individuos con dos software. El software R con el paquete Dead Can Move, el cual simula esquemas de muestreo variados (es decir, muestreos a intervalos cada vez mayores), compara los patrones de alta mortalidad entre los esquemas de muestreo y los datos de línea de base (Barbosa et al. 2014) y el software KDE+, el cual se basa en los principios de Kernel Density Estimation (KDE). El método utilizado por este software permite la selección objetiva de clusters significativos y la clasificación de los sitios de alta mortalidad (hotspots), aplicable simultáneamente a un número ilimitado de segmentos de carretera (Bíl et al. 2013).

Se realizó un mapa de agrupación de puntos de alta mortalidad con el software QGIS, en el que se atribuye la severidad por cada clúster. La escala de severidad fue definida a criterio del investigador principal, basado en la mortalidad registrada en la totalidad del muestreo. La mortalidad más baja se identificó con color verde (2- 66 individuos atropellados), la moderada con color amarillo (66- 130 individuos atropellados) la alta con color naranja (194-258 individuos atropellados) y la muy alta con color rojo (258-322 individuos atropellados).

Entrevistas

Las entrevistas se digitaron en Microsoft Excel para la agrupación de las respuestas, el cálculo de porcentajes de las mismas y la elaboración de gráficos.

RESULTADOS

Se determinó 32 sitios a lo largo de la carretera que cuentan con alta mortalidad de herpetofauna (Cuadro 5). Dichos puntos cuentan con las coordenadas de inicio y finales, y varían según su ubicación y su longitud. Además, están asociados a las diferentes parcelas establecidas previamente.

Cuadro 5. Ubicación y severidad de los sitios de alta mortalidad (“hotspots”) en la Carretera Interamericana Norte, Sector Tempisquito-Cruce Santa Cecilia, Guanacaste Costa Rica.

Número Punto (clúster)	Correspondencia de Parcelas	Coordenadas de inicio del clúster (Latitud- Longitud)	Severidad
1	26-28	11.026380° -85.636273°	Amarillo
2	38-40	11.015742° -85.638327°	Verde
3	41-42	11.013629° -85.636870°	Amarillo
4	47	11.010103° -85.633767°	Amarillo
5	51-53	11.006826° -85.633964°	Naranja
6	56-59	11.001707° -85.633625°	Naranja
7	62-66	10.996819° -85.631141°	Rojo
8	70-71	10.990941° -85.628633°	Amarillo
9	73-74	10.988782° -85.627216°	Amarillo
10	80-81	10.983557° -85.623496°	Verde
11	93-95	10.972459° -85.621654°	Verde
12	108	10.959654° -85.618421°	Amarillo
13	110-111	10.958052° -85.617588°	Amarillo
14	118-119	10.951789° -85.613504°	Amarillo
15	123-124	10.947254° -85.612291°	Amarillo
16	142-143	10.930064° -85.609143°	Verde
17	153	10.921454° -85.605452°	Verde
18	163	10.912651° -85.602906°	Verde

(Continuación)			
Número de Punto (clúster)	Correspondencia de Parcelas	Coordenadas de inicio del clúster (Latitud- Longitud)	Severidad
19	172-173	10.904591° -85.602836°	Amarillo
20	180	10.897367° -85.602684°	Verde
21	200	10.881196° -85.598194°	Verde
22	207	10.879335° -85.592019°	Verde
23	226-227	10.874410° -85.575029°	Verde
24	235	10.867329° -85.572308°	Verde
25	238-240	10.864524° -85.571635°	Amarillo
26	254-256	10.850623° -85.572840°	Verde
27	271-272	10.840272° -85.562322°	Amarillo
28	275-276	10.837683° -85.560191°	Amarillo
29	278	10.835329° -85.558755°	Amarillo
30	281-283	10.832453° -85.557115°	Amarillo
31	287-289	10.828102° -85.554120°	Amarillo
32	301-303	10.819681° -85.544654°	Amarillo

De los 32 sitios, 12 fueron clasificados con condición verde (2- 66 individuos atropellados) 17 con la condición amarilla (66- 130 individuos atropellados), 2 con la condición naranja (194-258 individuos atropellados), y 1 sitio con la condición roja (258-322 individuos atropellados) (Cuadro 5, Fig. 17). De ellos, 11 sitios se encuentran fuera del área protegida, 12 sitios se encuentran entre los Parques Nacionales Guanacaste y Santa Rosa y 9 sitios se encontraron bajo la zona de influencia del Parque Nacional Guanacaste (Fig. 17).

Además, los sitios con mayor densidad de mortalidad coinciden con los clúster de mayor longitud. Éstos se ubican al norte de la carretera, en los sitios 6 y 7, con una longitud de 410 metros con condición de severidad Naranja y 375 metros con condición de severidad Roja (Fig. 17).

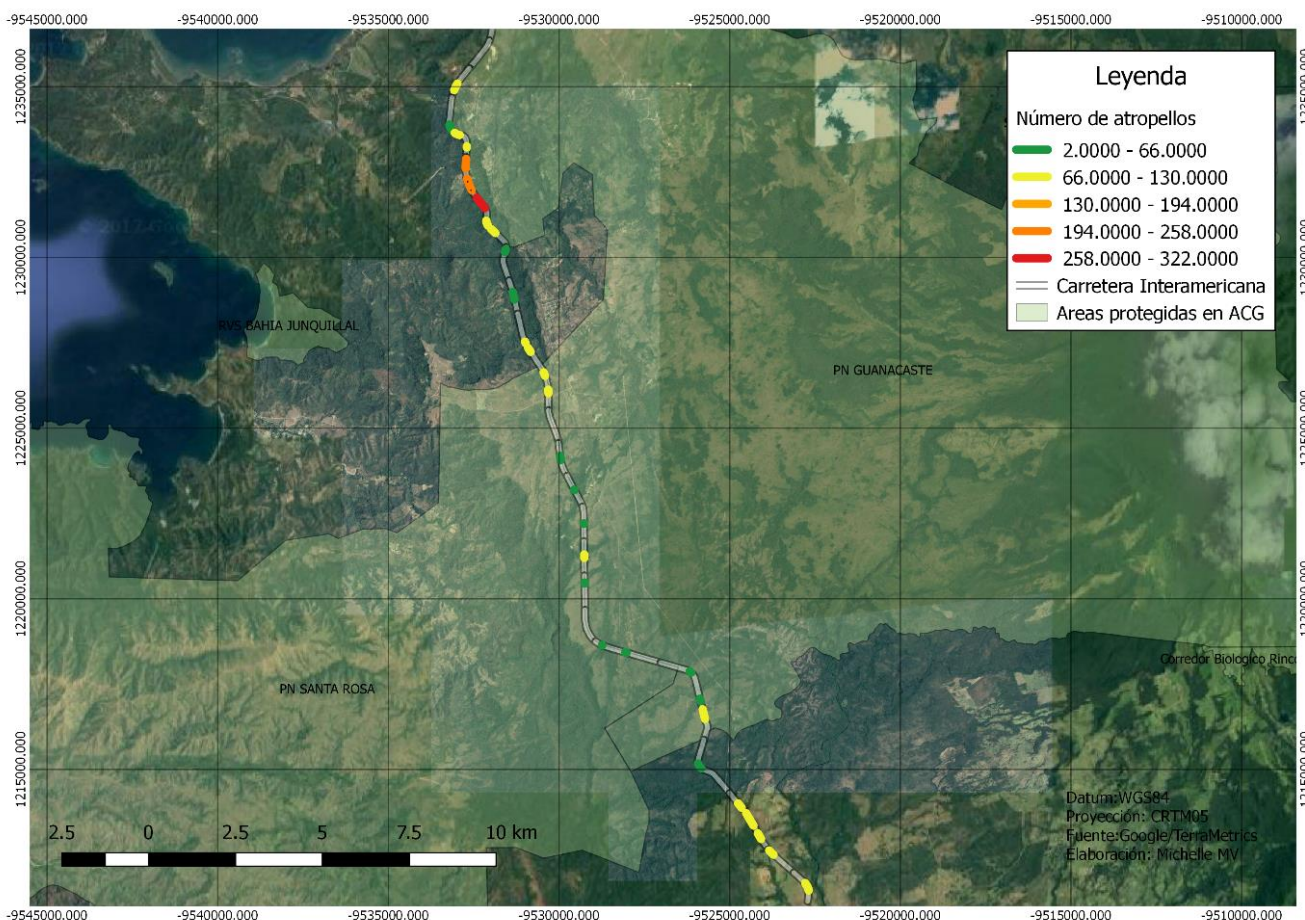


Figura 17. Sitios de Alta Mortalidad de Herpetofauna para los años 2016 y 2017 en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste, Costa Rica.

De los 55 entrevistados, 49% opinó que no es necesario ampliar la carretera a 4 carriles. Entre las principales razones se expresó que se debe respetar el ambiente ($n=13$), que hay poco embotellamiento vehicular ($n=9$), y que no es necesaria la ampliación siempre y cuando se le dé un mantenimiento adecuado a la carretera ($n=5$) (Fig. 18).

Por otro lado, 51% de los entrevistas mostraron una preferencia por la ampliación a cuatro carriles de la carretera. El miedo hacia vehículos pesados y accidentes de tránsito es la principal razón ($n=7$), seguido de la necesidad de vías de calidad para el desarrollo del país ($n=6$), la percepción de alto flujo vehicular ($n=5$), mayor confort al manejar ($n=4$), no provocar cuellos de botella y respetar el ambiente ($n=3$) (Fig. 18).

Encuestas a conductores de la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste, Costa Rica

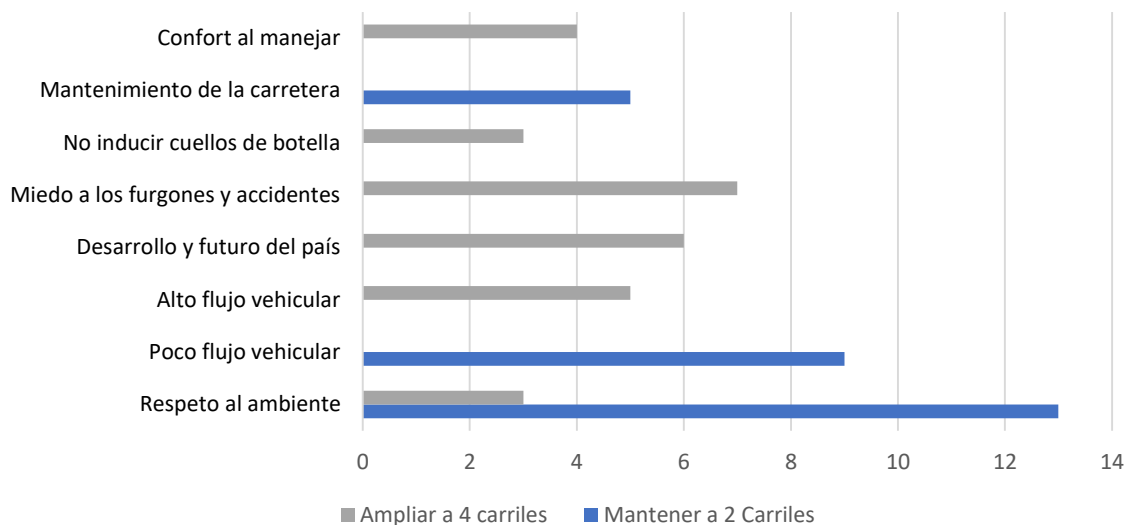


Figura 18. Respuesta de los conductores que transitan la Carretera Interamericana, a la pregunta ¿es necesario ampliar la carretera? de una breve explicación.

A la pregunta: ¿Ha visto rotulación preventiva sobre paso de fauna silvestre en la carretera? Un 58,1% (n=32) de los entrevistados afirmó haber visto este tipo de señales de prevención en la carretera, mientras que un 34,54% (n=19) afirmó no haberlo visto. Un 7,27% (n= 4) de los conductores no estuvo seguro de su respuesta (Fig. 19).

Encuestas a conductores de la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste, Costa Rica.

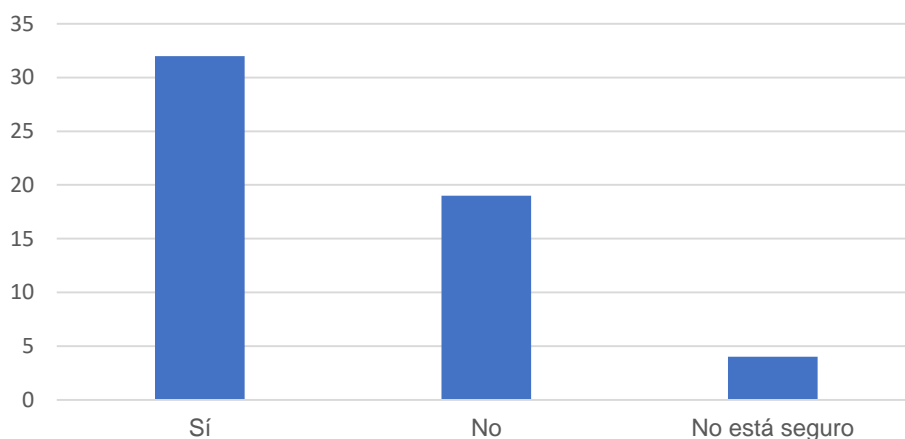


Figura 19. Respuesta de los conductores que transitan la Carretera Interamericana Norte, a la pregunta ¿Ha visto rotulación preventiva sobre paso de fauna silvestre en la carretera?

Propuesta de mitigación

Utilizando el esquema de estándares abiertos para la conservación se lograron identificar tres amenazas principales a las poblaciones de herpetofauna del ACG provocadas por la carretera. Estas son: fragmentación boscosa, posibilidad de endogamia poblacional y atropellos por vehículos livianos y pesados.

De igual manera se identificaron algunos factores que influyen sobre estas amenazas y deben ser tomados en cuenta en la elaboración de propuesta de mitigación. Entre ellos, la ampliación de la ruta 1 Liberia – Peñas Blancas. Esta obra influirá directamente e indirectamente sobre cada una de las amenazas mencionadas, desde la fragmentación boscosa y problemas de endogamia al dividir el ecosistema y generar una barrera que podría afectar el flujo génico entre poblacionales, hasta aumentar la cantidad de muertes en carretera debido al incremento en la velocidad a la que transitan los vehículos.

Otro factor importante es la percepción de los conductores hacia los anfibios y reptiles. En muchos casos existe un disgusto o repulsión hacia estos animales que genera poca disposición a evitar sus atropellos e incluso provocarlos intencionalmente. Adicionalmente, la baja detección debido a su pequeño tamaño también favorece la ocurrencia de atropellos ya que los conductores no logran advertir su presencia a tiempo para evitar la colisión.

Como una medida para mitigar ante estas amenazas se plantean dos estrategias principales para reducir el impacto de la carretera sobre la comunidad de anfibios y reptiles en el ACG. Estas son: La construcción de la carretera con estructuras de mitigación adecuadas y programas de educación ambiental y seguridad vial (Fig 20).

Construcción de la carretera con estructuras de mitigación adecuadas

Se debe considerar que la construcción de alcantarillas subterráneas como medida prioritaria para reducir la afectación a la herpetofauna del ACG provocada por la carretera. Estas estructuras permiten el paso de los animales de un lado a otro sin exponerlos a los peligros directos de la carretera. Sin embargo, deben seguir ciertas recomendaciones:

Las alcantarillas deben contar con una altura de entre 50 y 120 cm, mantener un ambiente húmedo con un sustrato preferiblemente natural y contar con un adecuado sistema de drenaje que evite que se inunden durante la época lluviosa. Estas estructuras se deben complementar con barreras de desvío para aumentar la efectividad de las mismas, de esta forma se incrementa la probabilidad de uso por parte de la herpetofauna del lugar.

La localización de estas estructuras no debe ser al azar. Es prioritario enfocar esfuerzos en los sitios de alta mortalidad que se detallan en este estudio, incluso si se encuentran fuera del área protegida. Además, se debe priorizar la colocación de estructuras en lugares con presencia de humedales naturales que son hábitat y sitio de reproducción de algunas especies. Se debe dar prioridad a los sitios ubicados en las parcelas 5, 6 y 7, definidos en este documento, para implementar todas las recomendaciones aquí planteadas, en especial la utilización de barreras de desvío.

Adicionalmente, se deben realizar estudios sobre la ubicación de factores como el movimiento por reproducción de especies clave como *I. luetkenii* e *I. coccifer* y especies catalogadas bajo amenaza por la IUCN o la Ley de Conservación de Vida Silvestre de Costa Rica. Estos podrán ser tomados en cuenta para definir otros sitios prioritarios para la colocación de alcantarillas de paso. Sin embargo, se debe trabajar basado en manejo adaptativo si al momento de la ampliación no se cuenta con información detallada concerniente al paisaje y al movimiento de las especies.

Es importante mencionar que las estructuras Jersey (barreras rígidas), como las utilizadas en la ampliación de la Carretera Nacional Interamericana Norte Sector Cañas-Liberia, deben ser evitadas en una eventual ampliación en el Sector Liberia - Peñas Blancas, o al menos en el tramo que atraviesa el ACG. Se recomienda implementar estructuras de separación vial que representen una menor amenaza para la vida silvestre; como lo son los postes abatibles, líneas de retumbe centrales o los espacios con césped.

Programa de educación ambiental y seguridad vial

Es necesaria la creación de programas de educación ambiental y seguridad vial para reducir la cantidad de atropellos. La falta de conciencia sobre la problemática, el exceso de velocidad y la percepción negativa de los conductores hacia la herpetofauna son factores que aumentan la probabilidad de muertes en carretera para estos grupos de animales y pueden ser evitados mediante este tipo de estrategias.

Estos programas deben estar orientados a ayudar a los conductores a comprender la importancia de las áreas protegidas, las precauciones que deben tomarse al manejar en carreteras que las atraviesen y la eliminación de mitos y miedos de la población hacia la herpetofauna al hacerles entender su importancia ecosistémica.

Para su implementación, se recomienda coordinar con el MOPT-COSEVI para implementar programas de educación vial a nivel nacional. De igual forma, los programas

del ACG, Especialmente el Programa de Educación Biológica (PEB) son una buena opción para incluir la temática de los atropellos en carretera.

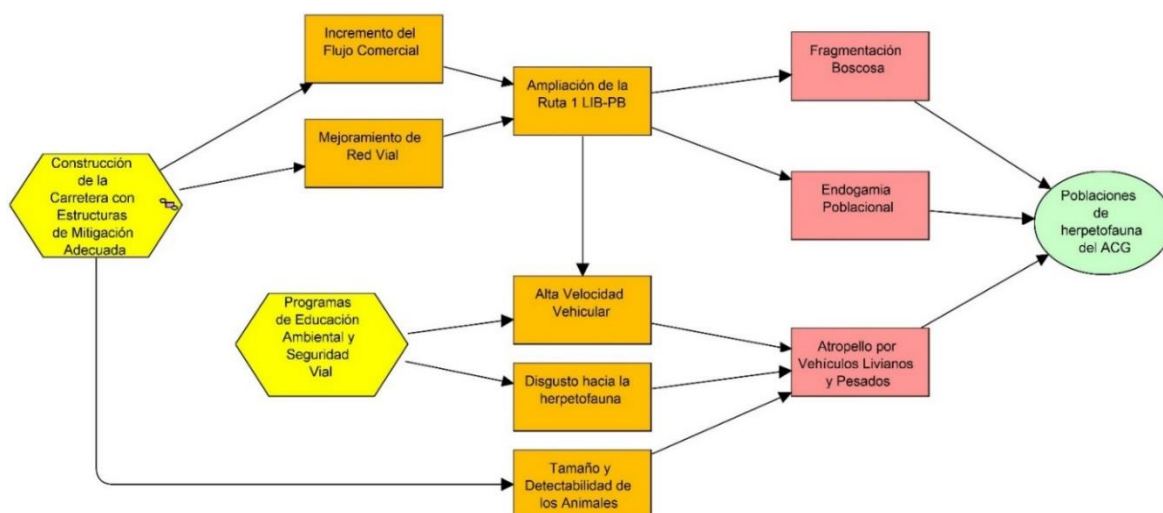


Figura 20. Esquema de Estándares Abiertos para la Conservación aplicado a las poblaciones de herpetofauna afectadas por la Carretera Interamericana Norte en el Área de Conservación Guanacaste.

Evaluación

Posterior a las estrategias propuestas para mitigar la afectación a la herpetofauna por la carretera, es necesario evaluar la efectividad de estas medidas. Por lo tanto, se deben establecer protocolos de monitoreo antes y después de la implementación de estas estrategias. En el caso del monitoreo posterior, debe ser implementado por un periodo de al menos 1.7 años o mayor para asegurar la detección de efectos transitorios a largo plazo.

De igual manera, es importante involucrar y capacitar al MOPT en las acciones pre y post de la ampliación de la carretera para una adecuada implementación y evaluación de las estrategias. Así como también brindar capacitación y seguir las recomendaciones de este y otros trabajos (ver anexo H)

DISCUSIÓN

Al determinar los sitios de alta mortalidad se observó que en general, la mayor mortalidad se registra en las zonas boscosas (Ver capítulo 2). No obstante, en la Figura 2 se puede observar que a pesar de no estar inmerso en una matriz boscosa, los segmentos 32 al 26 en color amarillo son sitios de alta mortalidad. Aunque la zona del parque tiene prioridad por albergar especies con un grado mayor de amenaza (o especies más especialistas), es necesario hacer mitigación en diferentes partes de la carretera aunque no sea parque nacional; ya que los agrosistemas también poseen fauna y son capaces de satisfacer las necesidades de diferentes especies (Atauri y de Lucio 2001). Además, dirigir esfuerzos a los sitios con presencia de humedales naturales es de gran importancia ya que la pérdida de éstos puede causar una reducción directa en la conexión entre poblaciones de especies remanentes (Semlitsch y Bodie 1998) y además son puentes de vinculación ecológica y hábitat de múltiples especies (Snodgrad et al. 2000).

Al cuantificar las muertes a lo largo de la carretera se visualiza la magnitud del problema, sin embargo, lo más importante es brindar soluciones de cómo mitigar el problema. Smith et al. (2017) hicieron una revisión de métodos con los cuáles se ha mitigado el impacto de las carreteras con herpetofauna a nivel mundial. Ellos determinaron que uno de los mejores métodos para evitar muertes de herpetofauna por atropellos con migración masiva es el cierre de carreteras durante la temporada reproductiva (Coehlo et al. 2012, Sutherland et al. 2015); sin embargo, no se puede aplicar ésta estrategia en el sitio de estudio (ACG) por tratarse de una vía de primera categoría (MOPT). Otro método revisado fue la señalización y creación de símbolos de precaución y rótulos de la vida silvestre, más se determinó que éste es todavía experimental y su eficacia es incierta (Romin y Bissonette, 1996, D'Angelo et al. 2006).

Un estudio en el Reino Unido (Froglife 1996) encontró que a pesar de las señales de advertencia y la asistencia humana, más de 500 bufónidos fueron atropellados en algunas carreteras. En la Carretera Interamericana Norte no se recomienda este tipo de mitigación como método principal, debido a que solo un 58.12% de las personas han percibido las señales de tránsito colocadas en el borde de la carretera (Fig. 4). Además, a pesar de percatarse de la existencia de la señal, la interpretación del conductor no siempre fue adecuada, ya que algunos confundían el mensaje de precaución con un mensaje turístico. Las señales sí pueden ser utilizadas, pero únicamente como un método complementario, ya que a pesar que el conductor esté consciente del paso de

animales por la vía, para este es difícil detectar y evitar atropellar la herpetofauna por su tamaño reducido (obs pers).

La construcción de alcantarillas subterráneas recomendada en este estudio es un método que se ha estudiado ampliamente y bien reconocida su efectividad. Mata et al. (2008) encontraron que los animales de tamaño mediano y grande seleccionan pasos de fauna abiertos, mientras que los animales pequeños como los anfibios y reptiles prefieren estructuras similares a las alcantarillas. Y ha sido demostrado que su efectividad es mayor cuando mantienen un alto de menos de 50 cm (Colino-Rabanal y Lizana 2012) o 1.2 metros (Rodríguez et al. 1996) y un ambiente húmedo con un sustrato preferiblemente natural (Lesbarrères et al. 2004, Mazerolle y Desrochers 2005).

La construcción de barreras junto con los pasos subterráneos es muy recomendada por diversos autores para aumentar la efectividad de esta medida (Cunnington et al. 2014, Sutherland et al. 2015). En la revisión de Sutherland et al. (2015) siete de ocho estudios en Alemania, Canadá y los Estados Unidos encontraron que implementar barreras de desvío con alcantarillas redujo las muertes de anfibios siempre que la longitud de la valla y el material fueran efectivos. Meinig (1989) encontró que una vez instalada una cerca efectiva, el número de anfibios migratorios muertos en la carretera durante la migración reproductiva disminuyó de 109 a 20 por noche. Dodd et al. (2004) tuvieron resultados similares al encontrar 19 atropellos de anfibios en un sitio de 3km con barrera, mientras que contabilizaron 326 atropellos en la sección de 500 m sin barreras. Por otro lado Malt (2011) encontró que las tasas de atropello de las carreteras con secciones que poseen barreras y alcantarillas se redujeron en más del 50% que en los sectores sin éstas. Estas barreras también son importantes para reducir la mortalidad de tortugas, ya que Eco Kare International (2017) encontró que las barreras han reducido la mortalidad en un 90.5% en este taxón. Teniendo en cuenta estos datos, es elemental construir barreras de desvío en los pasos subterráneos del ACG.

En cuanto a la situación actual de los atropellos en el área de conservación, la propuesta planteada en este estudio es el primer modelo de mitigación con que cuenta el ACG. Se tiene evidencia de que existen animales utilizando las alcantarillas (Torres 2011), mas no se está demostrando que se está haciendo una mitigación efectiva mediante la disminución de la mortalidad, ni se han cuantificado impactos positivos a nivel poblacional (Cunnington et al. 2014). Además, la carretera posee alcantarillas subterráneas para un drenaje adecuado, pero éstas están ubicadas en función de la carretera, no en función a evitar la mortalidad de la fauna. A pesar que estas alcantarillas pueden adoptar la función de mitigación, los anfibios son incapaces de detectar que

tienen una alcantarilla cercana para dirigirse hacia ella (Bouchard et al. 2009, Cunnington et al. 2014), por lo que las barreras de desvío son necesarios. Adicionalmente, se ha visto que algunas especies no cruzan si el terreno se encuentra inundado (Jochimsen et al. 2004) por lo que es importante la construcción de un drenaje adecuado en la alcantarilla o paso de fauna subterráneo.

Se debe tomar en cuenta que esta recomendación de construcción de pasos de fauna se basa en un contexto temporal y espacial restringido, y para tener una tendencia más clara, se deben hacer remuestreos, ya que determinar pasos de vida silvestre es un proceso de largo plazo (Opdam 1997). Para determinar la ubicación exacta de la construcción de la mitigación es importante adicionar a este estudio de mortalidad factores como movimiento por reproducción de especies clave como *I. luetkenii* e *I. coocifer*, y para especies catalogadas bajo amenaza por la IUCN o por la Ley de Vida Silvestre de Costa Rica (Ver capítulo 1) para aumentar la efectividad de la mitigación y disminuir los costos de inversión.

En el caso de este estudio, debido a que los anfibios tienden a ser fieles al sitio de la primera cría (Sinsch 1990), los individuos pueden regresar a estanques de cría cuyos alrededores se han vuelto subóptimos recientemente (Guerry y Hunter 2002) por lo que es probable que la mortalidad en los sitios 5, 6 y 7 se mantengan en la misma ubicación a través de los años. Inclusive Lobo (Datos sin publicar) encontró en el 2008 un agrupamiento de alta mortalidad espacialmente similar al encontrado en este estudio en los sitios 5, 6 y 7 (Anexo F), y Garrah (2015) plantea que un año de muestreo puede ser suficiente cuando la mortalidad en carretera es particularmente alta.

Las barreras rígidas, como las utilizadas en la ampliación de la Carretera Nacional Interamericana Norte Sector Cañas-Liberia (Anexo E), se utilizan comúnmente en las carreteras para separar los carriles y prevenir colisiones frontales entre vehículos. Sin embargo, estas barreras pueden interferir con el paso de la fauna de manera que los animales se queden atrapados en la carretera (Clark 2012). Típicamente, los animales pequeños no pueden encontrar un paso seguro a través de todas las vías de tráfico debido a la presencia de estas barreras sólidas y eventualmente mueren atropellados por un vehículo (Clark 2012).

Teniendo en cuenta la necesidad de incrementar los índices económicos y de desarrollo, además de la necesidad de vías de mayor nivel (Fig. 18), la posibilidad de que la carretera sufra una ampliación es alta. El problema es que Fahrig et al. (1995) demostraron que las carreteras pavimentadas que poseen doble carril y de alto tránsito tienen un mayor efecto sobre la abundancia de anuros que las carreteras pavimentadas

de dos carriles de bajo tránsito. Al ampliar la Carretera Interamericana a 4 carriles, se prevé que incremente el tránsito y la velocidad de los automóviles que la utilizan. En caso que esta ampliación ocurra, se deben seguir estrategias de conservación que estén estructuradas y planificadas como las planteadas en este y otros documentos (ver anexo H) para determinar con certeza cuales son las acciones a ejecutar para enfrentar este problema y si éstas son lo suficientemente efectivas para alcanzar los objetivos de conservación (Swartz et al. 2012). Como se observa en la Figura 5, el construir una mitigación adecuada soluciona en pequeña escala los problemas de endogamia poblacional y de fragmentación del hábitat que causa la carretera, ya que las estructuras construidas para el paso de fauna aumentan la conectividad entre parches boscosos y entre poblaciones (Clevenger et al. 2001). En este caso, el objeto de conservación es la comunidad de anfibios y reptiles que habitan en las cercanías de la Carretera Interamericana Norte.

De igual manera la creación de programas de educación vial y ambiental ayudará a reducir las muertes en carretera, creando conciencia sobre las altas velocidades a la que conducen los conductores y el disgusto hacia la herpetofauna que hace que sucedan atropellos intencionales. Un programa adecuado puede ayudar a los conductores a comprender la importancia de las áreas protegidas, las precauciones que deben tomarse al manejar en carreteras que las atraviesen y la eliminación de mitos y miedos de la población hacia la herpetofauna al hacerles entender su importancia ecosistémica. Algunos de los conductores entrevistados aducen que al construir más carriles se beneficia el medio ambiente, ya que hay más espacio para esquivar la fauna que cruza la carretera (Fig. 3). Este tipo de percepciones revelan la necesidad de un programa íntegro de educación vial y ambiental.

Se debe tener en cuenta que muchos estudios son muy cortos para distinguir efectos transitorios de efectos a largo plazo (Van der Grift et al. 2013), por lo que un monitoreo por un periodo de como mínimo 1.7 años (Lesbarrères y Fahrig 2012) es recomendable para detectar los efectos de mitigación en las poblaciones y observar si la mitigación fue adecuada. Además, se debe trabajar basado en manejo adaptativo si al momento de la misma no se cuenta con la información detallada concerniente al paisaje y al movimiento de las especies.

LITERATURA CITADA

- ACG. 2012. ¿Qué es el ACG?. Recuperado el 6 de octubre del 2016 de <https://www.acguanacaste.ac.cr/acg/que-es-el-acg>
- Angulo, A., Rodríguez-Mahecha, J. V., Rueda-Almonacid, J. V., y La Marca, E. 2006. Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional.
- Arroyave, M. D. P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, C., y Ramos, K. C. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista eIA*, (5), 45-57.
- Atauri, J. A., y de Lucio, J. V. 2001. The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes. *Landscape ecology*, 16(2): 147-159.
- Barbosa, T. E., y Amarís-Castro, G. E. 2014. Application of Bayesian techniques for the identification of accident-prone road sections. *Dyna*, 81(187): 209-214.
- Beckmann, J. P., Clevenger, A. P., y Huijser, M. 2010. *Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity*. Island Press.
- Benavides- Vindas, S. 2005. El sector turismo: Su aporte a la Economía. *Economía y Sociedad*, 10(27).
- Bíl M, Andrášik R, Svoboda T, Sedoník J. 2015. The KDE+ software: a tool for effective identification and ranking of animal-vehicle collision hotspots along networks. *Landscape Ecology*, 31:231–7.
- Bíl, M., Andrášik, R., Janoška, Z. 2013. Identification of Hazardous Road Locations of Traffic Accidents by Means of Kernel Density Estimation and Cluster Significance Evaluation. *Accident Analysis and Prevention* 55, 265–273.
- Bouchard, J., Ford, A., Eigenbrod, F., y Fahrig, L. 2009. Behavioral responses of northern leopard frogs (*Rana pipiens*) to roads and traffic: implications for population persistence. *Ecology and Society*, 14(2).
- Clark, L. J. 2012. Assessment of a safe driving program for novice drivers and smart Jersey barrier design to minimize animal-to-vehicle collisions (Tesis Doctoral, Clemson University).

- Clevenger, A. P., y Waltho, N. 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 14(1): 47-56.
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B., y Gunson, K. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology*, 38(6):1340-1349.
- Coelho, I. P., Teixeira, F. Z., Colombo, P., Coelho, A. V. P., y Kindel, A. 2012. Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of environmental management*, 112, 17-26.
- Colino-Rabanal, V. J., y Lizana, M. 2012. Herpetofauna and roads: a review. *Basic and Applied Herpetology*, 26: 5-31.
- Cunnington, G. M., Garrah, E., Ewen, E., y Fahrig, L. 2014. Culverts alone do not reduce road mortality in anurans. *Ecoscience*, 21(1): 69-78.
- D'Angelo, G.J., Gallagher, G.R., Osborn, D.A., Miller, K.V., y Warren, R.J. 2006. Evaluation of wildlife warning reflectors for altering white-tailed deer behavior along roadways. *Wildlife Society Bulletin* 34: 117.
- Dodd C.K., Barichivich W.J. y Smith L.L. 2004. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation*, 118: 619-631
- Eberhardt, E., Mitchell, S., y Fahrig, L. 2013. Road kill hotspots do not effectively indicate mitigation locations when past road kill has depressed populations. *The Journal of Wildlife Management*, 77(7): 1353-1359
- Eco-Kare International. 2017. Effectiveness of wildlife mitigation measures for turtles on Highway 69 from 2015 to 2016. A report for public dissemination submitted to the Ontario Ministry of Transportation, North Bay, Ontario, Canada, 86 pp.
- Fahrig, L., J. H. Pedlar, S. E. Pope, P. D. Taylor y J. F. Wegner. 1995. Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* 73:177-182.
- Froglife. 1996. Toad patrols: a survey of voluntary effort involved in reducing road traffic-related amphibian mortality in amphibians. *Froglife Conservation Report* No.1.

- Garrah, E., Danby, R. K., Eberhardt, E., Cunnington, G. M., y Mitchell, S. 2015. Hot spots and hot times: wildlife road mortality in a regional conservation corridor. *Environmental management*, 56(4), 874-889.
- Gitman, I., y Levine, M. D. 1970. An algorithm for detecting unimodal fuzzy sets and its application as a clustering technique. *IEEE Transactions on Computers*, 100(7): 583-593.
- Gomes, L., Grilo, C., Silva, C., y Mira, A. 2009. Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecological Research*, 24(2): 355-370.
- Guerry, A. D., y Hunter, M. L. 2002. Amphibian distributions in a landscape of forests and agriculture: an examination of landscape composition and configuration. *Conservation Biology*, 16(3): 745-754.
- Gunson, G. Mountrakis, L. y Quackenbush, J. 2010. Spatial wildlife-vehicle collision models: a review of current work and its application to transportation mitigation projects. *J. Environ. Management*, 92, pp. 1074-1082
- Jochimsen, D. M., C. R. Peterson, K. M. Andrews, y J. W. Gibbons. 2004. A literature review of the effects of roads on amphibians and reptiles and the measures used to minimize those effects. Idaho Fish and Game Department, Boise.
- Krisp, J.M. y Durot, S. 2007. Segmentation of lines based on point densities: an optimization of wildlife warning sign placement in southern Finland. *Accident Analysis and Prevention*, 39(1): 38-46.
- La Gaceta. 2009. Declaratoria de conveniencia de las acciones para la rehabilitación y ampliación de la Carretera Interamericana norte, tramo Barranca- Peñas Blancas no. 243, 16 diciembre del 2009.
- Langen, T. A., Machniak, A., Crowe, E. K., Mangan, C., Marker, D. F., Liddle, N., y Roden, B. 2007. Methodologies for surveying herpetofauna mortality on rural highways. *Journal of Wildlife Management*, 71(4):1361-1368.
- Lesbarrères, D., Ashpole, S. L., Bishop, C. A., Blouin-Demers, G., Brooks, R. J., Echaubard, P., y Houlahan, J. 2014. Conservation of herpetofauna in northern landscapes: Threats and challenges from a Canadian perspective. *Biological conservation*, 170: 48-55.

- Lesbarrères, D., Lodé, T., y Merilä, J. 2004. What type of amphibian tunnel could reduce road kills? *Oryx*, 38(2): 220-223.
- Lesbarrères, D., y Fahrig, L. 2012. Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? *Trends in ecology y evolution*, 27(7): 374-380.
- Lobo, H. 2009. Sin publicar. "Patrones y factores involucrados en la mortalidad de la fauna silvestre por colisión de vehículos a lo largo de la Carretera Interamericana que Atraviesa el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica." Informe de tesis, Universidad Nacional Costa Rica.
- Malo, J. E., Suarez, F., y Diez, A. 2004. Can we mitigate animal–vehicle accidents Using predictive models? *Journal of Applied Ecology*, 41(4): 701-710.
- Malt J. 2011. Assessing the effectiveness of amphibian mitigation on the Sea to Sky Highway: passageway use, roadkill mortality, and population level effects. *Herpetofauna and Roads Workshop - Is there light at the end of the tunnel?* Vancouver Island University, Nanaimo, Canada, 17-18.
- Mata, C., Hervas, I., Herranz, J., Suarez, F., y Malo, J. E. 2008. Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway. *Journal of Environmental Management* 88: 407–415.
- Mazerolle, M. J. 2004. Amphibian road mortality in response to nightly variations in traffic intensity. *Herpetologica*, 60(1): 45-53.
- Mazerolle, M. J., y Desrochers, A. 2005. Landscape resistance to frog movements. *Canadian Journal of Zoology*, 83(3): 455-464.
- MOPT. 2016. En servicio proyecto Cañas y Liberia, rehabilitación y ampliación de la Interamericana Norte. Recuperado el 7 de diciembre del 2016 de www.mopt.go.cr
- Mountrakis, G., y Gunson, K. 2009. Multi-scale spatiotemporal analyses of moose–vehicle collisions: a case study in northern Vermont. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(11): 1389-1412.
- Nación 2006. Vienen más ampliaciones en la Interamericana Norte" Recuperado el 03/12/2016 de: http://www.nacion.com/LNCGNF20160425_0001/capitulo4.html

- Niemi, M., Jääskeläinen, N. C., Nummi, P., Mäkelä, T., y Norrdahl, K. 2014. Dry paths effectively reduce road mortality of small and medium-sized terrestrial vertebrates. *Journal of environmental management*, 144: 51-57.
- Opdam, P. F. M. "How to choose the right solution for the right fragmentation problem?". 1997. *Habitat fragmentation and infrastructure*. Ministry of transportation Public Work and Water management, Netherlands.
- Puglisi, M.J., J.S. Lindzey, y E. D. Bellis. 1974. Factors associated with highway mortality of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 38: 799–807.
- Ramp, D., Caldwell, J., Edwards, K.A., Warton, D., y Croft, D.B. 2005. Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 126: 474–490
- Rodriguez, A., Crema, G., y Delibes, M. 1996. Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of Applied Ecology*, 1527-1540.
- Romin, L.A., y Bissonette, J.A., 1996. Deer-vehicle collisions: status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildlife Society Bulletin* (24): 276,283.
- Sáenz, J., Langen, T. y Torres, L. 2012. Atropellamientos de vertebrados y posibles medidas de mitigación en el Área de Conservación Guanacaste (Presentación en PDF en: Memoria I Simposio Ecología de Caminos). San José, Costa Rica, UNED (Universidad Estatal a Distancia). 70 p.
- Schwartz, M. W., Deiner, K., Forrester, T., Grof-Tisza, P., Muir, M. J., Santos, M. J. y Zylberberg, M. 2012. Perspectives on the Open Standards for the Practice of Conservation. *Biological conservation*, 155: 169-177.
- Semlitsch, R. D., y Bodie, J. R. 1998. Are small, isolated wetlands expendable?. *Conservation biology*, 12(5): 1129-1133.
- Shwiff, S. A., Smith, H. T., Engeman, R. M., Barry, R. M., Rossmanith, R. J., y Nelson, M. 2007. Bioeconomic analysis of herpetofauna road-kills in a Florida state park. *Ecological Economics*, 64(1):181-185.
- Sinsch, U. 1990. Migration and orientation in anuran amphibians. *Ethology Ecology y Evolution*, 2(1): 65-79.

- Smith, L. L., y Dodd Jr, C. K. 2003. Wildlife mortality on US highway 441 across paynes prairie, Alachua county, Florida. *Florida Scientist*, 128-140.
- Smith, R.K., Meredith, H. y Sutherland, W.J. 2017. Amphibian Conservation. Pp 9-65 en: W.J. Sutherland, L.V. Dicks, N. Ockendon y R.K. Smith (eds) *What Works in Conservation 2017*. Open Book Publishers, Cambridge, UK.
- Snodgrass, J. W., Komoroski, M. J., Bryan, A. L., y Burger, J. 2000. Relationships among isolated wetland size, hydroperiod, and amphibian species richness: implications for wetland regulations. *Conservation biology*, 14(2): 414-419.
- Souza, A. M., Pires, R. C., Borges, V. S., y Eterovick, P. C. 2015. Road mortality of the herpetofauna in a Cerrado ecosystem, central Brazil. *The Herpetological Journal*, 25(3): 141-148.
- Sutherland, W. J. 2015. What works in conservation? L. V. Dicks, N. Ockendon, y R. K. Smith (Eds.). Open Book Publishers.
- Torres, L. 2011. Funcionalidad de estructuras subterráneas como pasos de fauna en la Carretera Interamericana Norte que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Van der Grift, E. A., van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlahan, J., Jaeger, J. A., y Olson, L. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation*, 22(2): 425-448.
- WDL. 2013. Carretera Interamericana. UNESCO. Recuperado el 05 de Agosto del 2017 de: https://www.wdl.org/es/item/11310/#additional_subjects=Inter-American+highway.
- Zimmermann, F., Kindel, A., Hartz, S. M., Mitchell, S., y Fahrig, L. 2017. When road-kill hotspots do not indicate the best sites for road-kill mitigation. *Journal of Applied Ecology*.

CONCLUSIONES

- El número de muertes por carretera aumenta en las temporadas lluviosas, en donde aumentan los picos de actividad.
- La cobertura boscosa y la presencia de fuentes de agua son factores que influyen en las muertes por atropello de anfibios.
- Especies declaradas con la categoría de amenaza y poblaciones reducidas están teniendo alta mortalidad en la Carretera Interamericana Norte.
- La Carretera Interamericana Norte posee 32 puntos de alta mortalidad en la temporada 2016-2017.
- Las características de las alcantarillas actuales y su ubicación basada en la estructura de la carretera hacen que no se conozca si el modelo actual de mitigación para herpetofauna del ACG es efectivo.
- Los conductores que transitan la Carretera Interamericana Norte muestran desconocimiento de las implicaciones que conlleva conducir en un área protegida.

RECOMENDACIONES

- Es necesario integrar la investigación sobre la mitigación de la vida silvestre en el proceso de planificación vial con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Se debe desarrollar una alianza política- académica que permita a los profesionales en biología participar en la fase de desarrollo vial para obtener una correcta identificación de impactos viales y por ende una correcta mitigación.
- Para determinar y cuantificar la amenaza que está generando la carretera en las poblaciones debe haber un muestreo anual, para determinar si hay cambios en la ocupación y en la mortalidad de especies.
- Se debe establecer un programa de monitoreo de mortalidad constante en la Carretera Interamericana Sector: Liberia- Peñas Blancas, como herramienta para proponer sitios de mitigación para diferentes taxones. En el caso de la posibilidad de la ampliación, es importante no esperar un monitoreo hasta que se dé la ampliación de la carretera, ya que datos previos a la construcción de las estructuras de mitigación son necesarios para determinar la efectividad de éstos. Es necesario realizar muestreos biológicos antes y después de construir cada paso de fauna con el fin de hacer un diagnóstico de efectividad.
- Se debe incrementar la investigación basada en el movimiento de las especies y de sus rangos de acción con telemetría o collares GPS para complementar los registros de mortalidad por colisión anteriormente mencionados.
- Se debe priorizar en establecer un plan de acción para la protección de la especie *Incilius luetkenii* por su condición de especie amenazada según el decreto de ley 32633. Ese plan de acción debe considerar la construcción de una alcantarilla en los sitios de alta mortalidad 5,6 y 7 acompañada de una cerca que abarque como mínimo 1 kilómetro, basado en la longitud de los sitios de alta mortalidad.
- Incrementar la presencia de la policía de tránsito en la zona con el fin de imponer a los conductores el mantener los límites de velocidad en la carretera.
- Implementar en los programas del ACG (Especialmente el Programa de Educación Biológica (PEB)) la temática de los atropellos en carretera.
- Implementar programas de educación vial a nivel nacional por parte del MOPT-COSEVI.

ANEXOS

Anexo A. Ejemplo de base de registros a utilizar en el muestreo de atropellamientos.

Especie	#individuos	Fecha	Hora	Topografía Carretera	Cobertura vegetal	Cercanía a curvas	Coordenada

Anexo B. Lista de herpetofauna presente en el ACG según número de atropellos registrados en tres periodos: 2008-2009, 2009-2010 y 2016-2017.

Clase: Amphibia			
Orden: Gymnophiona			
Familia:Caecilidae			
Especies	2008-2009	2009-2010	2016-2017
<i>Gymnopsis multiplicata</i>	0	0	1
Clase: Amphibia			
Orden: Caudata			
Familia:Plethodontidae			
Especies	2008-2009	2009-2010	2016-2017
<i>Bolitoglossa striatula</i>	0	0	0
Clase: Amphibia			
Orden: Anura			
Especies	2008-2009	2009-2010	2016-2017
Anuro sin identificar	818	42	34
Familia: Rhinophrynidae			
<i>Rhinophrynus dorsalis</i>	8	0	0
Familia: Bufonidae			
<i>Incilius coccifer</i>	7	18	23
<i>Incilius luetkenii</i>	2	52	693
<i>Rhinella marina</i>	59	49	420
Familia: Craugastoridae			
<i>Craugastor crassidigitus</i>	0	0	0
<i>Craugastor fitzingeri</i>	0	0	0
<i>Craugastor ranoides</i>	0	0	0
<i>Craugastor stejnegerianus</i>	0	0	0
Familia: Leptodactylidae			
<i>Leptodactylus bolivianus</i>	0	0	0
<i>Leptodactylus fragilis</i>	1	0	2
<i>Leptodactylus melanonotus</i>	0	0	0
<i>Leptodactylus poecilochilus</i>	1	0	0
<i>Leptodactylus savagei</i>	0	0	0
Familia: Leiuperidae			
<i>Engystomops pustulosus</i>	5	0	0

Familia: Hylidae			
<i>Agalychnis callydrias</i>	0	0	0
<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	0	0	0
<i>Dendropsophus microcephalus</i>	0	0	0
<i>Scinax boulengeri</i>	0	0	0
<i>Scinax elaeochrous</i>	0	0	0
<i>Scinax staufferi</i>	15	0	0
<i>Smilisca baudinii</i>	1	0	0
<i>Smilisca phaeota</i>	0	2	2
<i>Smilisca sórdida</i>	0	0	0
<i>Tlalocohyla loquax</i>	0	0	0
<i>Trachycephalus typhonius</i>	1	2	47
Familia: Centrolenidae			
<i>Cochranella granulosa</i>	0	0	0
<i>Espadarana prosoblepon</i>	0	0	0
<i>Hyalinobatrachium fleishmanni</i>	0	0	0
<i>Sachatamia albomaculata</i>	0	0	0
<i>Sachatamia ilex</i>	0	0	0
Familia: Microhylidae			
<i>Hypopachus variolosus</i>	3	1	0
Familia: Ranidae			
<i>Lithobates forreri</i>	6	41	23
<i>Lithobates vaillanti</i>	0	0	0

Clase: Reptilia			
Orden: Testudines			
Especies	2008-2009	2009-2010	2016-2017
Familia: Kinosternidae			
<i>Kinosternon leucostomum</i>	0	0	2
<i>Kinosternon scorpioides</i>	15	3	1
Familia: Geoemydidae			
<i>Rhinoclemmys pulcherrima</i>	5	0	0
Familia: Emydidae			
<i>Trachemys venusta</i>	0	0	0
Familia: Chelydridae			

<i>Chelydra acutirostris</i>	0	0	0
Clase: Reptilia			
Orden: Squamata			
Especies	2008-2009	2009-2010	2016-2017
Serpiente sin identificar	1	6	5
Familia: Corytophanidae			
<i>Basiliscus Basiliscus</i>	0	0	0
Familia: Iguanidae			
<i>Ctenosaura quinquerinata</i>	0	0	0
<i>Ctenosaura similis</i>	12	4	8
<i>Iguana iguana</i>	0	0	1
Familia: Phrynosomatidae			
<i>Sceloporus malachiticus</i>	0	0	0
<i>Sceloporus squamosus</i>	0	0	0
<i>Sceloporus variabilis</i>	0	0	0
Familia: Dactyloidae			
<i>Anolis biporcatus</i>	0	0	0
<i>Anolis cupreus</i>	2	0	0
<i>Anolis intermedius</i>	0	0	0
<i>Anolis limifrons</i>	0	0	0
<i>Anolis lionotus</i>	0	0	0
<i>Anolis pentaprion</i>	0	0	0
<i>Anolis unilobulatus</i>	0	0	0
Familia: Gekkonidae			
<i>Lepidoblepharis xanthostigma</i>	0	0	0
<i>Hemidactylus frenatus</i>	0	0	0
<i>Hemidactylus garnotti</i>	0	0	0
<i>Coleonyx mitratus</i>	0	0	0
<i>Phyllodactylus tuberculosus</i>	0	0	0
<i>Sphaerodactylus millepunctatus</i>	0	0	0
<i>Gonatodes albogularis</i>	0	0	0
Familia: Xantusiidae			
<i>Lepidophyma reticulatum</i>	0	0	0
Familia: Scincidae			
<i>Mesoscincus managuae</i>	0	0	0

<i>Mabuya unimarginata</i>	0	0	0
<i>Sphenornus cherriei</i>	0	0	0
Familia: Teiidae			
<i>Ameiva undulata</i>	0	0	0
<i>Anadia ocellata</i>	0	0	0
<i>Aspidoscelis deppei</i>	0	0	3
Familia: Gymnophthalmidae			
<i>Gymnophthalmus speciosus</i>	0	0	0
Familia: Anomalepidae			
<i>Anomalepis mexicanus</i>	0	0	0
Familia: Leptotyphlopidae			
<i>Leptotyphlops ater</i>	1	0	0
<i>Epictia goudotii</i>	0	0	0
Familia: Loxocemidae			
<i>Loxocemus bicolor</i>	1	0	0
Familia: Boidae			
<i>Boa constrictor</i>	5	9	2
<i>Epicrates maurus</i>	0	0	0
Familia: Colubridae			
<i>Mastigodryas melanolomus</i>	0	0	0
<i>Drymarchon melanurus</i>	0	0	0
<i>Drymobius margaritiferus</i>	5	1	
<i>Leptodrymus pulcherrimus</i>	1	0	0
<i>Oxybelis aeneus</i>	2	1	1
<i>Oxybelis fulgidus</i>	0	0	0
<i>Senticolis triaspis</i>	0	0	0
<i>Spilotes pullatus</i>	0	0	0
<i>Scaphiodontophis venustissimus</i>	0	0	0
<i>Scolecophis atrocinctus</i>	0	0	0
<i>Stenorrhina frehimvilli</i>	2	0	1
<i>Tantilla armillata</i>	3	0	0
<i>Tantilla vermiformis</i>	0	0	0
<i>Chironius grandisquamis</i>	0	0	0
<i>Lampropeltis triangulum</i>	0	0	0
<i>Leptophis ahaetulla</i>	0	0	0

<i>Leptophis mexicanus</i>	0	0	1
<i>Trimorphodon quadruplex</i>	18	0	3
<i>Pseustes poecilonotus</i>	0	0	0
<i>Thamnophis proximus</i>	0	0	0
Familia: Dipsadidae			
<i>Coniophanes piceivittis</i>	2	2	1
<i>Imantodes cenchoa</i>	0	0	0
<i>Imantodes gemmistratus</i>	15	0	1
<i>Hydromorphus concolor</i>	0	0	0
<i>Conophis lineatus</i>	2	0	0
<i>Erythrolamprus bizonus</i>	0	0	0
<i>Dipsas articulata</i>	0	0	0
<i>Enulius flavitorques</i>	0	0	0
<i>Leptodeira annulata</i>	70	3	0
<i>Leptodeira nigrofasciata</i>	0	0	3
<i>Sibon anthracops</i>	6	0	1
<i>Sibon dimidiatus</i>	0	0	0
<i>Sibon nebulatus</i>	0	0	0
<i>Clelia clelia</i>	0	0	0
<i>Tropidodipsas sartorii</i>	0	0	0
<i>Xenodon rabdocephalus</i>	0	0	0
<i>Crisantophis nevermanni</i>	0	0	0
<i>Geophis hoffmani</i>	0	0	2
<i>Pliocercus euryzonus</i>	0	0	0
<i>Ninia maculata</i>	0	0	1
<i>Ninia sebae</i>	2	0	0
<i>Masticophys mentovarius</i>	2	0	2
Familia: Viperidae			
<i>Agkistrodon bilineatus</i>	0	0	0
<i>Atropoides mexicanus</i>	0	0	0
<i>Atropoides picadoi</i>	0	0	0
<i>Bothriechis lateralis</i>	0	0	0
<i>Bothriechis schlegelli</i>	0	0	0
<i>Bothrops asper</i>	0	0	0
<i>Crotalus simus</i>	1	2	1

<i>Porthidium ophryomegas</i>	23	2	6
Familia: Elapidae			
<i>Micrurus nigrocinctus</i>	5	3	2

Anexo C. Laguna localizada en la periferia oeste de la Carretera Interamericana Norte



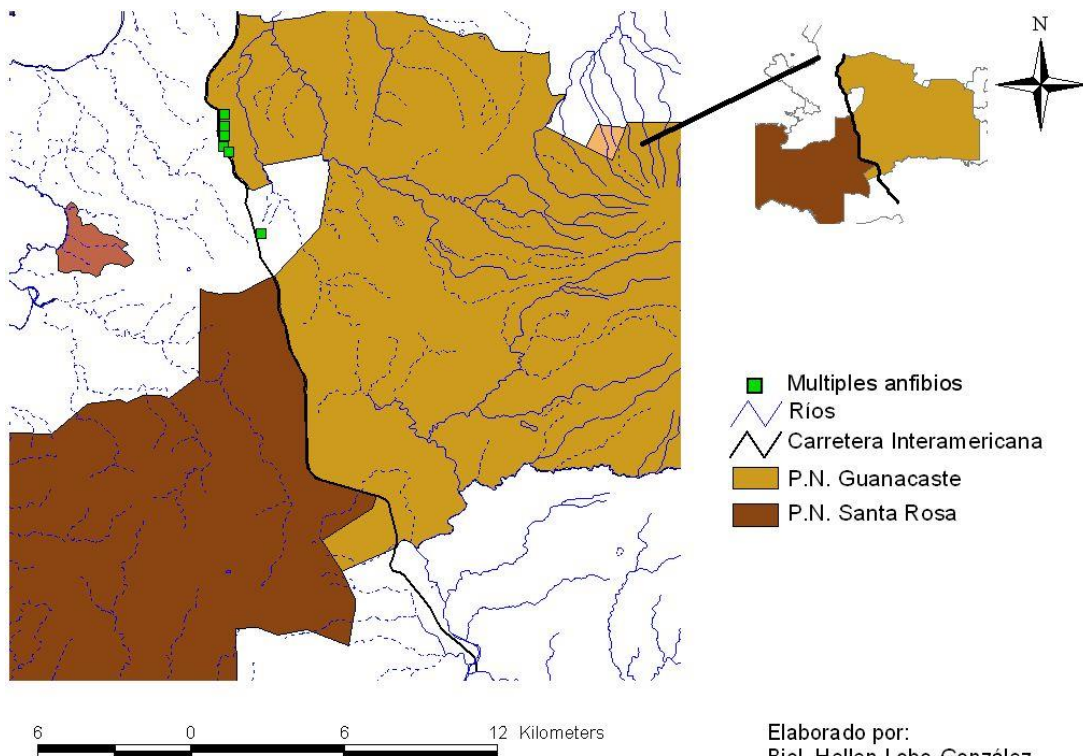
Anexo D. Laguna localizada en la periferia este de la Carretera Interamericana Norte



Anexo E. Estructura Jersey utilizada para evitar invasión de vehículos al carril contrario en Carretera Interamericana Norte (Cañas- Liberia). Fuente: mopt.go.cr



Anexo F. Mapa de mortalidad múltiple de anfibios en el período 2008-2009 en el Área de Conservación Guanacaste. Fuente: Lobo 2009, sin publicar.



Elaborado por:
Biol. Hellen Lobo-González
Mayo, 2009

Anexo G. Legislación actual referente al tema de la ampliación de la Carretera Interamericana Norte.

Ley General De Caminos Públicos, N.º 5060

Gaceta: Artículo 3º-A efecto de autorizar la limpieza y despeje en los terrenos del derecho de vía, sean patrimonio natural o forestal del Estado, la Administración Forestal del Estado tramitará con la debida agilidad la solicitud que en tal sentido le presente el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, dándole a dicha solicitud el trámite establecido por los numerales 3, inciso m) 33 y 34 de la Ley Forestal N° 7575 y sus reformas y tomando en consideración lo establecido en el presente Decreto; todo en observancia de los estudios técnicos de rigor y de las determinaciones conducentes que señala la normativa aplicable en la materia particular.

Proyecto de ley, expediente. N.º 19.899 para la reforma de La Ley General De Caminos Públicos, N.º 5060 del Departamento De Servicios Parlamentarios de la Asamblea Legislativa de Costa Rica:

“En este sentido se presenta una situación paralela entre las restricciones impuestas para el patrimonio natural del Estado con las áreas silvestres protegidas. Como se expuso supra, como tesis de principio no es posible la intervención y uso de dichas áreas si ese uso no está precedido por una ley que así lo autorice. Ello supone que la construcción de una estructura para un puente sobre un humedal o bien la construcción de una carretera en un parque nacional, deben ser sometidos al consenso legislativo pues de lo contrario, se podría incurrir en una ilegalidad pese a ser ambos, vías de comunicación para satisfacer las necesidades básicas de los usuarios. Con el proyecto que se plantea, se pretende flexibilizar la norma para que se permita al Ministerio de Obras Públicas y Transportes y a las municipalidades, la construcción e intervención ágil de las vías; por la naturaleza del servicio que se presta al usuario y por lo que representa para el tráfico comercial, continuar en el estancamiento vial que en buena medida ha sido originado por un ordenamiento jurídico rígido, acarrearía graves repercusiones que en algunos casos podrían ser irreparables e irreversibles. La construcción o intervención de una obra vial obedece a razones y motivos de orden técnico, social y económico, por tanto, el Estado debe tener todas las facilidades para lograr sus cometidos, los cuales se dirigen estrictamente a la satisfacción del interés público. En este sentido carece de razonabilidad, establecer restricciones que limitan y cercenan la gestión pública en beneficio del usuario. Flexibilizar la norma no implica desproteger el ambiente; lo que se pretende es que se acceda a un manejo de este y de sus áreas protegidas,

generando impactos evaluados que permitan la implementación de medidas para restituir, compensar y mitigar daños, o bien asumir todas las medidas necesarias para preservar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, tal como demanda el artículo 50 de nuestra Constitución Política.”

Anexo H. Pasos para incluir la investigación en los proyectos de monitoreo de la mitigación en construcción y ampliación de carreteras, traducido de Lesbarrères y Fahrig (2012)

Pasos	Descripción
1.Preconstrucción: Determinar el impacto potencial de la carretera en el área de interés	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las especies en las que la carretera puede afectar su movimiento y sus requerimientos ecológicos • Identificar las escalas temporales y espaciales mas relevantes para las especies y la frecuencia de sus movimientos
2.Identificar metas para los pasos de fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer objetivos cuantitativos para especies (ej:incrementar frecuencia de cruce) • Determinar tipos de estructura, materiales, tamaños etc. para los pasos de fauna
3.Identificar sitios de control y de mitigación, así como datos pre construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el número y las localidades de los pasos de fauna planeados así como 2 sitios de control • Determinar diseños alternativos en caso que el presupuesto sea insuficiente para ejecutar el diseño mas óptimo • Correr análisis de poder para determinar la réplica necesaria para detectar los efectos del paso de fauna. • Diseñar los protocolos de monitoreo para las especies de interés • Colectar datos de movimiento

	<p>animal en los sitios de control y de mitigación</p>
4. Monitoreo post construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar los pasos de fauna • Continuar con los protocolos de monitoreo animal por el tiempo dado por el análisis de poder • Mantener el personal que toma los datos para reducir los sesgos y la variabilidad por observación.
5. Analizar datos y publicar resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar los datos. • Reportar los resultados a los patrocinadores, ONG'S y organizaciones gubernamentales involucradas en el proceso. • Si la mitigación no es exitosa, se debe comunicar el fallo e intentar un rediseño.

Anexo I. Información útil para plantear una mitigación, modificado de Beckmann et al. (2010)

Tipo de datos	Descripción
Fotos aéreas	Las fotos ayudan a identificar usos del suelo y diferentes tipos de vegetación
Mapas topográficos	Mapas que traen información de pendientes, valles, y otros.
Red vial	Información digital que contiene todas las carreteras y caminos del sitio a mitigar.
Mapas de tenencia de la tierra	Mapas que identifiquen el uso de la tierra como terrenos públicos, privados, áreas silvestres protegidas son necesarios para la planificación.
Mapas de Conectividad	Mapas en donde se modela conductancia (permeabilidad) y resistencia de los objetos de conservación al terreno.
Datos de uso de hábitat	Datos como huellas, fotos y videos captados con cámaras trampa, letrinas, dormideros, avistamientos directos, y unidades de consumo del objeto de conservación.
Datos de movimientos de especies	Uso de instrumentaria como la Telemetría, Collares GPS, Cámaras trampa, Identificación de heces por ADN para determinar rangos de acción y sitios de paso.
Datos de mortalidad por atropello según taxón	Datos colectados por ministerios, ciencia ciudadana o muestreos estandarizados en carreteras.