
Correlación entre variables físicas de la carretera y los atropellos de vertebrados silvestres en la Carretera Interamericana Norte, Costa Rica

José Pablo Guzmán García^a

^aEscuela de Biología, Universidad Latina de Costa Rica. San José.

ORCID: 0000-0002-3935-5955 josepablo_gg@outlook.com

Submitted: Date | **Peer reviewed:** Date | **Accepted:** Date | **Published:** Date

Resumen

Los atropellos de vida silvestre generan una importante pérdida a nivel ecosistémico, incluyendo pérdida de biodiversidad, fragmentación de hábitats, entre otros. El propósito del siguiente trabajo es el de analizar la relación entre las variables físicas de la carretera, y la cantidad de atropellos en ella. Se realizó un muestreo en la carretera Interamericana Norte, el cual consistió en una observación directa de los animales atropellados y, por otra parte, se analizaron las variables físicas de la carretera (presencia o ausencia de: curvas, cuerpos de agua, pasos de fauna, topografía, uso de suelo a los bordes y flujo vehicular) con modelos de regresión lineal. Los estudios que existen en esta carretera no relacionan variables físicas con atropellos, esto es de suma importancia ya que la carretera tiene presencia de diferente fauna que se encuentra en peligro de extinción o su población es vulnerable. Como resultado se obtuvo que el grupo de mayor porcentaje en atropellos fue el de los mamíferos con un 35,2% luego los reptiles con 31%, seguido por aves con 21,1%, y por último los anfibios con 12,7%. Las 3 especies más atropelladas fueron *Ctenosaura similis* (19 individuos), *Rhinella horribilis* (8 individuos) y *Didelphis marsupialis* (6 individuos). Los modelos de regresión lineal indicaron una correlación entre Atropellos vs Tipo de Curva A, Uso de suelo y Topografía de la carretera. Las variables restantes no tuvieron significancia para este estudio específicamente. Los puntos calientes de este estudio coinciden con estudios previos a la ampliación de la carretera.

Keywords: Atropellos, Ruta 1, características de la carretera, Costa Rica, correlación

El ser humano ha utilizado las carreteras como facilidades para procesos de comercialización, transporte y desarrollo (económico y turístico), a diferentes escalas espaciales (local, regional, nacional o internacional). A pesar de todos los beneficios que brindan las carreteras al ser humano, son consideradas las estructuras que causan la mayor modificación del medio ambiente, generando la mayor amenaza para la biodiversidad (Pragatheesh y Rajvanshi, 2013).

La deforestación, pérdida de hábitat y la fragmentación de hábitat son algunas de las consecuencias generadas por el desarrollo de carreteras (Torres, 2011). Lo anterior provoca efectos como la pérdida de conectividad, reducción de las zonas de distribución de especies y, la que más se percibe a simple vista, es la muerte en carretera (refiriéndose a los atropellos), generando impactos significantes sobre la dinámica poblacional de las especies, siendo éste, el efecto más fácil de medir (Rojas Chacón, 2011; Torres, 2011; Arroyave et al., 2006).

Costa Rica, a pesar de ser considerado un país conservacionista, no cuenta con mecanismos suficientes para minimizar los atropellos de la vida silvestre en la carretera. Muchas carreteras en Costa Rica tienen registros de atropellos de vida silvestre, en el presente estudio se realizó específicamente en el tramo Cañas-Liberia, ubicado en la Ruta 1 o también conocida como Carretera Interamericana Norte. La Ruta 1 recorre una gran parte del país, con el fin de conectar la zona norte con el Gran Área Metropolitana para el transporte y comercio (Torres, 2011). Sin embargo, esta carretera, a pesar de ser de suma importancia a nivel nacional, está generando

afectaciones en la fauna silvestre de la zona (Monge Velázquez, 2018). La Áreas de conservación Arenal-Tempisque (ACAT) y Guanacaste (ACG) poseen especies que son amenazadas, debido a que el tramo Cañas y Liberia, las atraviesa. Esta carretera fue ampliada en el tramo Cañas-Liberia de 2 a 4 carriles en el cual se incluyeron diferentes estructuras como los pasos de fauna, retornos, barrera de New Jersey, puentes, entre otras estructuras, a esto se le suma el uso de suelo a los bordes, cuerpos de agua y curvas. Las estructuras anteriores son posibles variables que puedan influenciar en la cantidad de atropellos.

Los atropellos afectan de diferentes maneras, como la pérdida de biodiversidad y la fragmentación de poblaciones, pero la cuestión es que si las características de la carretera ampliada influyen en la cantidad de atropellos. Según los resultados y las conclusiones de estudios sobre muertes en carretera, los atropellos serán en mayor cantidad cerca de los cuerpos de agua, la cobertura de suelo sea de tipo boscosa y presencia de curvas, y las muertes en carretera por atropellos se verán reducidas cerca de los pasos de fauna.

El objetivo del estudio es evaluar la mortalidad de la fauna silvestre en la Carretera Interamericana Norte, tramo Cañas-Liberia, durante el primer cuatrimestre del 2019. Para lograrlo se analizarán las variables espaciales que influyan en los atropellos de fauna silvestre en la carretera Interamericana Norte, luego registrar atropellos en cada segmento de la carretera Interamericana Norte y determinar las correlaciones entre las variables espaciales y los atropellos en la Carretera Interamericana Norte.

Materiales Y Métodos

Area de estudio

El tramo de carretera en el cual se va a realizar el estudio va desde Cañas (Latitud 10°24'55.97" N, Longitud 85°5'13.37" O) a Liberia (Latitud 10°38'16.38" N, Longitud 85°27'3.37" O) (Figura 1). Tiene una longitud de 50,5 km de carretera, posee 4 carriles de concreto, 7 pasos de fauna arborícolas y 9 terrestres (MOPT, 2016). Atraviesa los cantones de Cañas, Bagaces y Liberia.

Cantones de Cañas, Bagaces y Liberia Ampliación de la carretera Interamericana Norte Tramo Cañas-Liberia

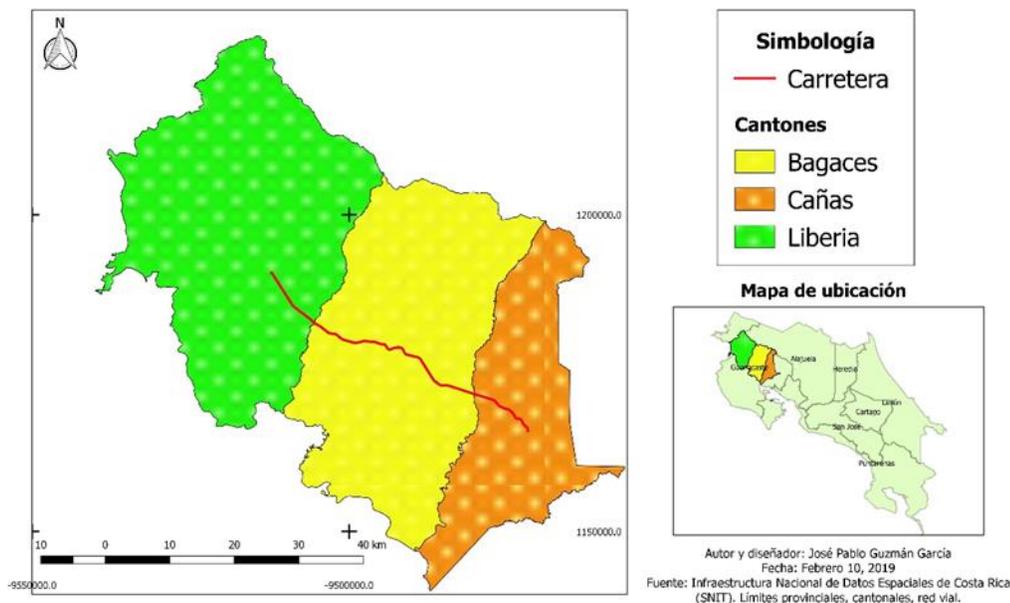


Figura 1. Muestra el mapa de ubicación de los 50,5 km que mide el tramo Cañas-

Liberia, que es una sección de la Carretera Interamericana Norte.

Atraviesa 2 áreas de conservación: La mayor parte se encuentra en el Área de Conservación Arenal-Tempisque (ACAT), y la otra parte se encuentra en el Área de Conservación Guanacaste (ACG) (SINAC, s.f.), y entre esas dos grandes áreas de conservación se encuentra el Corredor Biológico las Morocochas (CBM) (SINAC, 2018).

Descripción del diseño de muestreo y recolección de datos

Durante un pre muestreo, se segmentó la carretera por cada kilómetro, comenzando en el inicio de la ampliación (Latitud 10°24'55.97" N, Longitud 85°5'13.37" O) hasta finalizarla (Latitud 10°38'16.38" N, Longitud 85°27'3.37" O), siendo un total de 50 segmentos. Cada kilómetro se demarcó con una pintura en aerosol, colocando el número de kilómetro al lado de la carretera, siendo "0" el punto inicial y "50" el punto final.

Durante la segmentación de la carretera se georreferenció tanto el inicio de cada segmento de la carretera como las diferentes variables a lo largo de ella las cuales fueron: los cuerpos de agua cuando crucen la carretera y estructuras subterráneas (alcantarillas y pasos de fauna) y aéreas (pasos de fauna). Para georreferenciar todos los puntos en este estudio se utilizó la aplicación "GPS Essentials" desarrollada por "mictale".

Al finalizar el muestreo de reconocimiento comenzó el muestreo de atropellos. Se utilizó el método de observación directa por medio de recorridos a lo largo de la carretera durante un período de 16 días, el cual consistió en 4 días seguidos de muestreo semanales (Pomareda et al., 2014), intercalando el día de inicio entre lunes, martes, miércoles y jueves, de manera que se abarquen todos los días de la semana. La carretera completa se recorrió en una motocicleta, a una velocidad promedio de 25 km/h (recomendado entre los 20 y 30 km/h), 2 veces al día. El primer recorrido del día se realizó a las 5:00 am y el segundo a las 6 pm, debido a que esas horas están registrados los picos de actividad de la fauna silvestre (5 am a 7 am, y 6 pm a 10

pm) (Pomareda et al., 2014). Este método se escogió debido a la validez y eficacia que otros estudios poseen (Pragatheesh & Rajvanshi, 2013; Monge Velázquez, 2018; Urmendez, Castillo y Zambrano, 2017; Pomareda et al., 2014).

El punto de inicio diario (número de kilómetro) se escogió de manera aleatoria para cada muestreo, con el fin de tomar los datos de cada kilómetro a horas diferentes cada día. Para escoger el punto de inicio cada día se utilizó la aplicación de celular “Generador Aleatorio” versión 2.0.10 desarrollada por “Apps n’ Blue”. Para obtener el número se ingresaba en la opción de “Número Aleatorio” y se colocó como valor mínimo 0 y máximo 50.

Para la medición de flujo vehicular se realizó un promedio de la cantidad de vehículos durante 5 min, cada 5 km. Para contarlos se usó una aplicación de celular llamada “Contador” desarrollada por “apperoan”.

Método para la recolección de datos

Se requirió chaleco reflector, casco de motocicleta, linterna de cabeza y de mano, cono reflectivo, cinta métrica, guías de animales (aves, mamíferos, anfibios y reptiles), guantes de látex, gorra, celular, vehículo (Pomareda et al., 2014).

Se creó una hoja de registro en la aplicación “Epicollect5” versión 2.0.6 desarrollada por “Imperial College, London” en la cual se preguntaba: Segmento, especie, ubicación GPS, fecha, hora, topografía, tipo de curva, uso de suelo, fotografía, observaciones. Estos datos se basaron en la hoja de recolección de datos de la “Guía Ambiental Vías Amigables con la Vida Silvestre” (Pomareda et al., 2014).

Luego de tomar los datos en la aplicación “Epicollect5”, se procede a colocarse guantes de látex para remover al animal de la carretera, con el fin de no realizar una doble toma del mismo dato (Urmendez, et al., 2017).

Análisis de datos

Identificación de puntos calientes: Se utilizó el programa QGIS, el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG o, en inglés, GIS), que consiste en un conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y también personas; que hace posible la recolección de datos, almacenamiento, procesamiento y análisis (Domingo y Agüero, 2013). Se colocaron los puntos geográficos de las especies encontradas en un mapa, que luego fue transformado en un archivo “shape”. Posteriormente se utilizó la extensión Kernel Density para indicar las regiones con mayor densidad de atropellos (Pomareda et al., 2014).

Análisis de variables

Todos los datos fueron tabulados por cada segmento de la carretera, y se contemplaron un total de 16 variables, las cuales son: Atropellos, Cuerpos de agua, Estructuras subterráneas, Estructuras aéreas, Curva A, Curva B, Curva C, Con depresión, Con paredón, Debajo de la línea de vegetación, En la línea de vegetación, Encima de la línea de vegetación, Escalonada, Bosque, Cultivo, Potrero y Urbanización. Para generar el modelo de regresión lineal se utilizó el modelo de mínimos cuadrados ordinarios mediante el programa “Gretl”, utilizando todas las variables siendo “Atropellos” la variable dependiente y las demás variables las independientes.

Existen las llamadas enfermedades (problemas en el modelo) en estos tipos de modelos, como lo son la autocorrelación, heterocedasticidad y la colinealidad. La autocorrelación no se puede calcular debido a que los datos son transversales y no temporales. La colinealidad es una

alta correlación entre las variables independientes, lo cual indica un problema, ya que podría generar información falsa. Cabe recalcar que se calcula para los modelos con 2 o más variables independientes. Por último, heterocedasticidad explica cómo las variaciones en las variables son inestables. Cuando existe heterocedasticidad la p es menor a 0,05. Cuando un modelo era significativo se corrieron análisis de colinealidad y heterocedasticidad para verificar que los datos fueran útiles.

Resultados

Análisis de datos:

Se recolectó un total de 71 animales atropellados. En la figura 2 se muestra de mayor a menor la cantidad total de especies atropelladas en el estudio, siendo en su mayoría animales sin identificar, seguido por garrobos (*Ctenosaura similis*), luego el sapo común (*Rhinella horribilis*), y el zorro pelón (*Didelphis marsupialis*), siendo éstos los más afectados. Todos los individuos que si se lograron identificar se hizo a nivel de especie, a excepción del grupo Columbidae que se identificó a nivel de familia.

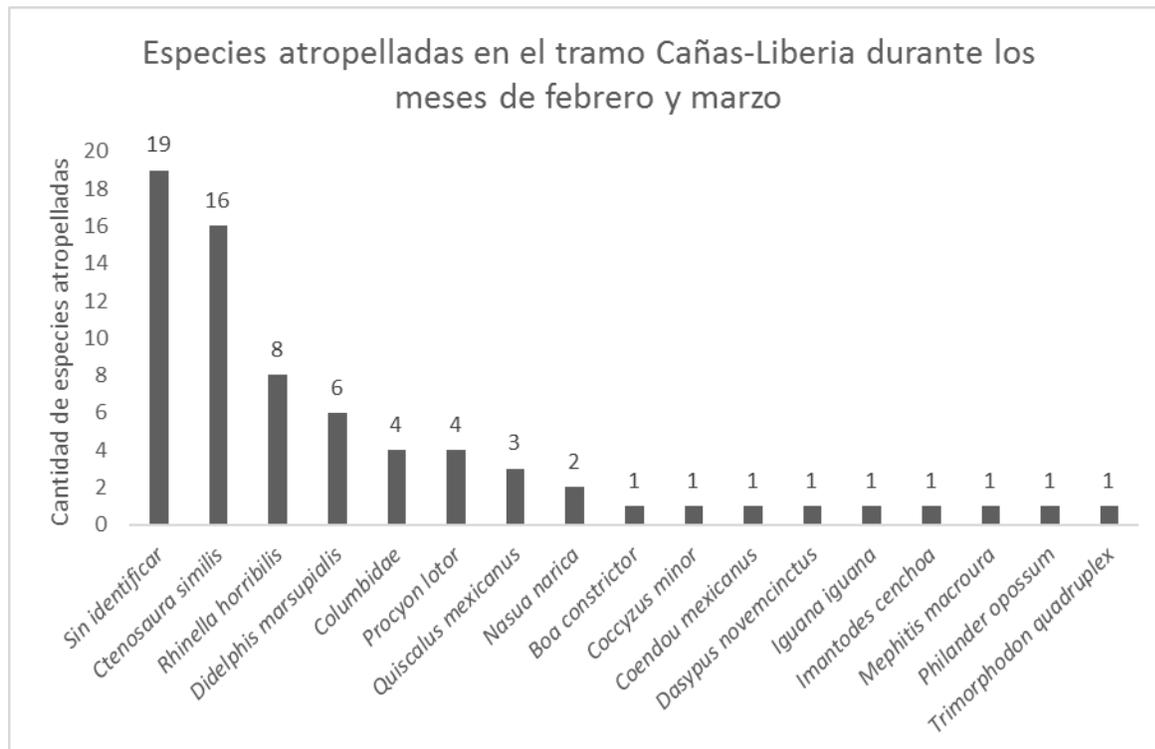


Figura 2. Especies atropelladas en la ruta 1.

La figura 3 muestra cual grupo de vertebrados fue el más afectado por atropellos. Aunque no se logró identificar a todos los individuos por especie, se logró clasificar los 71 individuos en anfibios, reptiles, mamíferos y aves.

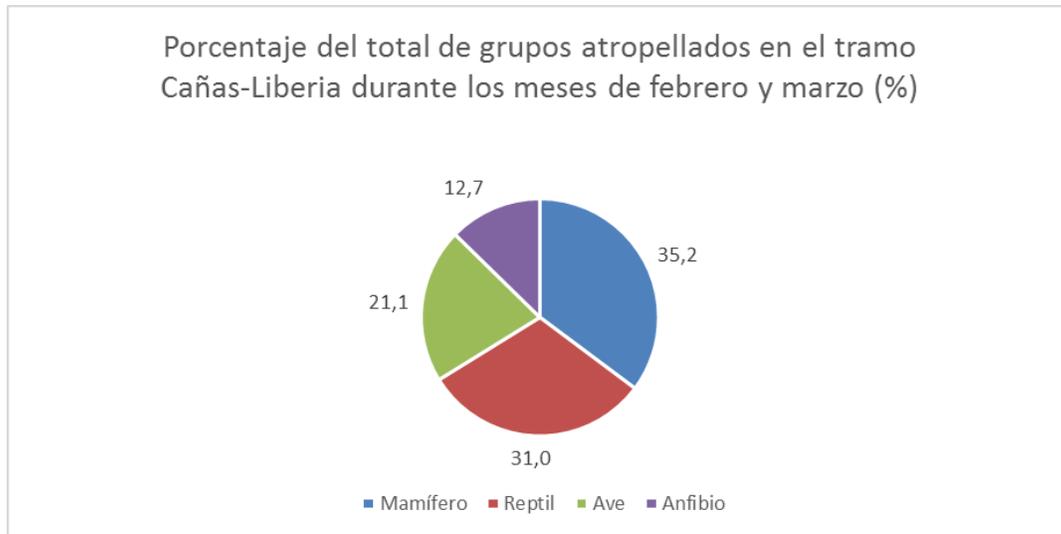


Figura 3. Porcentaje de los grupos de vertebrados atropellados en la ruta 1. Los mamíferos muestran una dominancia con el 35,2%, seguido por los reptiles con un 31%, luego las aves con 21,1% y por último los anfibios con 12,7%.

En la figura 4 se muestra el mapa de puntos calientes, evidenciando los segmentos que tuvieron la mayor concentración de atropellos.

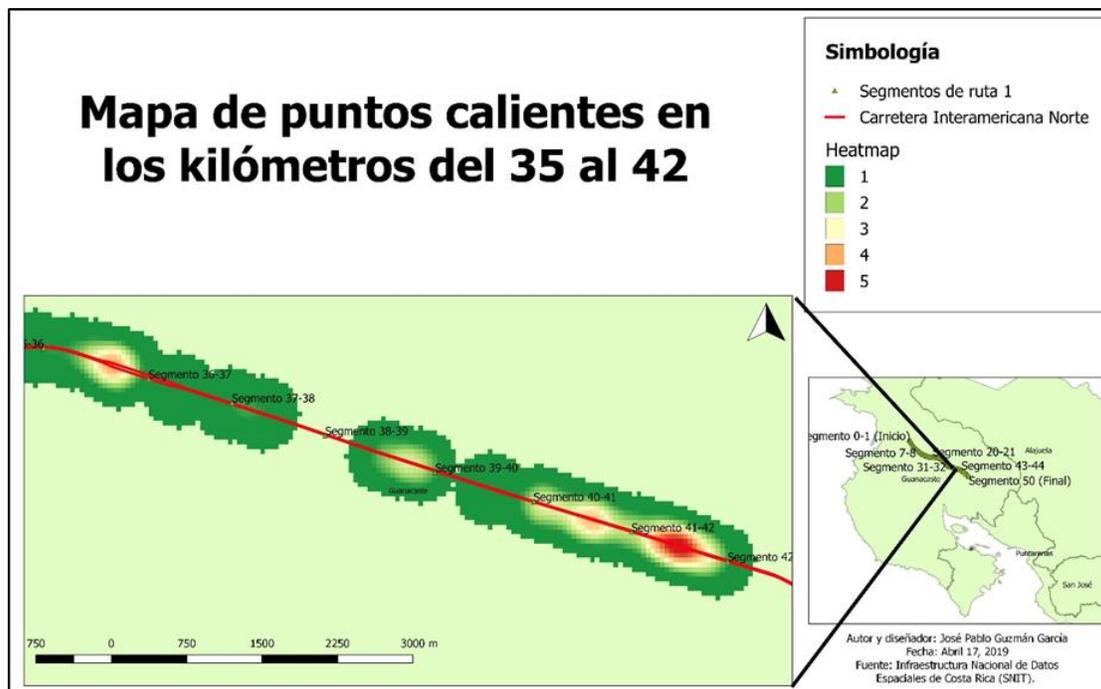


Figura 4. Segmentos 35 y 40 poseen una concentración de 4 animales atropellados en un radio de 400 metros, y el segmento 41 posee una concentración de 5 animales atropellados en un radio de 400 metros.

Análisis de variables

Se corrieron modelos de mínimos cuadrados ordinarios de un total de 16 variables independientes (cuerpos de agua, estructuras subterráneas, aéreas, tipo de curva A, B y C, topografía de la carretera que incluye con depresión, con paredón, debajo de la línea de vegetación, en la línea de vegetación, encima de la línea de vegetación y escalonada; y por último el uso de suelo a los lados de la carretera, los cuales son bosque, cultivo, potrero y urbanización) y 1 variable dependiente (atropellos). Los cuadros presentados son los modelos que dieron datos significativos para el trabajo del total de modelos corridos.

CUADRO 1.

Resultado del modelo Mínimos Cuadrados Ordinarios con la variable atropellos siendo la dependiente y el tipo de curva A como variable independiente.

Variables	Coficiente	Significancia
Const	0,321701	**
Curva A	0,992605	***

***: significancia al 99%; **: significancia al 95%.

En el cuadro 1 muestra los resultados del modelo de Atropellos contra Curva de tipo A. Indica que la variable Curva A tiene un grado de significancia del 99%, mostrando que la variable tiene un alto grado de confianza (error al 1%), y la constante tiene un grado de significancia al 95% (error al 5%). Si el grado de significancia es de 95% o más se considera relevante para el modelo, siendo este el caso.

El coeficiente de determinación o R² del modelo es de 0,8610; esto indica que este modelo posee estimaciones que se ajustan significativamente a la variable real (Francisco-López, s.f.).

Ya que el R² no excluye a las variables que no tienen relevancia para el modelo, aparece el coeficiente de determinación ajustado o R² ajustado. Este coeficiente si excluye a las variables irrelevantes para el modelo (Francisco-López, s.f.). Debido a lo anterior, si el R² y el R² ajustado no tienen diferencia relevante entre sí, se dice que el modelo es bueno. En el caso del modelo del cuadro 1, el R² ajustado es de 0,8582, siendo muy similar al R². En otras palabras, el modelo explica en un 85,8% la variable Curva A.

Este modelo sólo utiliza una variable independiente no es posible realizar un análisis de colinealidad, sin embargo, si puede hacerse un contraste de White para medir si existe heterocedasticidad. Según el resultado, se obtuvo una p de 0,2705; lo anterior indica que el modelo es homocedástico.

CUADRO 2.

Resultado del modelo Mínimos Cuadrados Ordinarios con la variable atropellos siendo la dependiente y los diferentes tipos de topografía como variables independientes.

Variables	Coficiente	Significancia
Const	0,205299	**
Con Paredón	1,01330	***
Debajo de la línea de vegetación	0,937381	**
En la línea de vegetación	0,969217	***
Encima de la línea de vegetación	0,714639	***
Escalonada	0,794701	**

***: significancia al 99%; **: significancia al 95%.

El coeficiente de determinación o R² del modelo es de 0,9322; esto indica que este modelo posee estimaciones que se ajustan significativamente a la variable real (Francisco-López, s.f.). El R² ajustado es de 0,9247, siendo muy similar al R². En otras palabras, el modelo explica en un 92,5% las variables topográficas de la carretera.

CUADRO 3.

Resultado de la prueba de colinealidad al modelo de la variable atropellos siendo la dependiente y los diferentes tipos de topografía como variables independientes.

Variabes	Factor de inflación de varianza (FIV)
Con Paredón	1,847
Debajo de la línea de vegetación	1,013
En la línea de vegetación	1,926
Encima de la línea de vegetación	1,122
Escalonada	1,023

Según el resultado del contraste de White para medir si existe heterocedasticidad se obtuvo una p de 0,0529; indicando que el modelo es homocedástico.

CUADRO 4.

Resultado del modelo Mínimos Cuadrados Ordinarios con la variable atropellos siendo la dependiente y los diferentes tipos de uso de suelo como variables independientes.

Variabes	Coeficiente	Significancia
Const	0,235606	**
Bosque	0,968399	***
Cultivo	1,02703	***
Potrero	0,949329	***

***: significancia al 99%; **: significancia al 95%.

El coeficiente de determinación o R² del modelo es de 0,9287; esto indica que este modelo posee estimaciones que se ajustan significativamente a la variable real (Francisco-López, s.f.). El R² ajustado es de 0,9242; siendo muy similar al R². En otras palabras, el modelo explica en un 92,4% las variables topográficas de la carretera.

CUADRO 5.

Resultado de la prueba de colinealidad al modelo de la variable atropellos siendo la dependiente y los diferentes tipos de uso de suelo como variables independientes.

Variabes	Factor de inflación de varianza (FIV)
Bosque	1,010
Cultivo	1,116
Potrero	1,124

Según la prueba de colinealidad (cuadro 5), todas las variables son menores a 10 y mayores a 1, lo cual indica que no existe colinealidad entre las variables.

Según el resultado del contraste de White para medir si existe heterocedasticidad se obtuvo una p de 0,9733; indicando que el modelo es homocedástico.

Discusión

Los mamíferos fueron el grupo con mayor cantidad de individuos atropellados, luego reptiles, aves y por último anfibios. La secuencia anterior es muy variable en estos tipos de estudio cuando se realizan en la zona Neotropical (Eloy-Seijas, Araujo-Quintero y Nadines. 2013). Este fenómeno se puede explicar por la cantidad de características de las zonas donde se realiza el estudio, puede incluir altitud, latitud, clima, tipos de hábitat, composición faunística, etc (Eloy-Seijas et al., 2013).

Los mamíferos son animales que abarcan un rango de movilidad muy amplio, ya sea en búsqueda de comida, refugio, agua, reproducción u otros recursos. Este amplio rango provoca que, en la búsqueda de esos recursos, se encuentren con carreteras que muy probablemente intentarán cruzar y morirán. Sumado a las altas temperaturas que prevalecieron durante el estudio, provoca un cambio de comportamiento. *Didelphis marsupialis* fue el mamífero que más atropellos tuvo, coincidiendo con el estudio realizado por Deisy Urmendez, en el cual esta especie fue la más atropellada. Esto puede ser consecuencia a que esta especie suele alimentarse de otros animales que fueron atropellados, además que como sugiere el estudio de mortalidad de fauna por atropello vehicular de Julio César Castillo, los hábitos nocturnos provocan que, en la presencia de luz de carro, el animal quede inmóvil (Castillo-R et al., 2015).

Los reptiles son animales ectotérmicos, lo que significa que la temperatura interna de ellos es regulada por la temperatura del medio ambiente, quiere decir que su metabolismo se optimiza mientras la temperatura dentro de su ámbito de tolerancia aumenta (Monge Velázquez. 2018). Debido a este comportamiento ectotérmico, los reptiles utilizan sustratos calentados por el sol, la superficie de las carreteras, por ejemplo (Vargas-Salinas, Delgado-Ospina y López-Aranda. 2011). La carretera posee una temperatura mayor a los hábitats naturales cercanos, esto es aprovechado por los reptiles tanto de noche como de día, aumentando la probabilidad de atropello (Monge Velázquez. 2018).

La mortalidad de aves viene reflejada según el tipo y la cantidad de recursos que se encuentran a los lados de la carretera (Urmendez et al., 2017).

La cantidad de atropellos de anfibios se debe a que, durante la época seca, los anfibios y reptiles entran a un estado de estivación, es decir, que disminuyen su actividad metabólica y su rango de movilidad, exponiéndose en menor cantidad a los atropellos (Monge Velázquez. 2018).

El estado de estivación coincide con el temporal debido al fenómeno del niño que está afectando durante el 2019. Según el Instituto Meteorológico Nacional, durante el período de noviembre del 2018 a marzo del 2019, la vertiente del pacífico sufrirá un incremento de hasta 2,0°C. Lo anterior se debe a que este fenómeno coincide con la época seca, generando sequía en esta zona (Instituto Meteorológico Nacional. s.f.).

Muchas especies son activas en sustratos arbóreos y de hojarasca, lo que los inhiben de moverse por áreas abiertas como potreros, que en este tramo de carretera predomina (Monge Velázquez. 2018). Esto es relacionado a otros estudios donde diversas especies de anfibios evitan caminar por asfalto debido al riesgo de desecación (Monge Velázquez. 2018). Sin embargo, la *Rhinella horribilis* fue el único anfibio registrado en el estudio. Esta especie suele habitar sitios transicionales con efecto borde, siendo expuestos a los atropellos (Monge Velázquez. 2018). Otro factor que favorece a los atropellos es la alimentación de invertebrados asociados a la vegetación de borde y a que usan las carreteras como rutas de dispersión (Vargas-Salinas et al., 2011).

Se encontraron especies generalistas como *Rhinella horribilis* y *Ctenosaura similis* atropelladas en el uso de suelo tipo cultivo (Monge Velázquez. 2018), coincidiendo con los 2 animales más atropellados de este estudio. Se asocia a los reptiles y mamíferos pequeños a áreas abiertas como pastos o potreros (Monge Velázquez. 2018). Una gran cantidad de reptiles utilizan los pastizales o potreros ya que en ellos se encuentran posibles presas como pequeños vertebrados e invertebrados, especialmente insectos (Monge Velázquez. 2018).

Normalmente los bosques son considerados el tipo de suelo óptimo para encontrar recursos, sin embargo, las áreas abiertas tanto para anfibios y reptiles son de suma importancia para generar estrategias de conservación, en especial cuando existe una carretera que amenace con atropellos de vida silvestre (Monge Velázquez. 2018).

Este estudio tuvo una relación directa con los tipos de curva A, que son las rectas de carreta. Según estudios realizados por Heiner Montenegro en Colombia y por Rico-Guzmán en el Parque Nacional del Carrascal, los tramos de vía con estas características presentaron un mayor número de atropellos debido a que los vehículos suelen aumentar la velocidad considerablemente (Montenegro, 2018; Rico-Guzmán et al., 2011).

La topografía fue muy influyente en los atropellos, de manera que un total de 5 variables topográficas los explican. Se ve una fuerte relación entre las variables “Con paredón” y “en la línea de vegetación”. Ambas variables tienen 1 similitud, la cual es que al menos uno de sus bordes está al nivel de la carretera, lo cual influye en que el animal no tenga ninguna dificultad para llegar a la carretera, e incluso que no se percate de la presencia de los autos y corra directo a la carretera. En un estudio realizado con reptiles en la India muestra una relevancia con los atropellos registrados con topografía a nivel de la línea de vegetación, la cual coincide con una de nuestras variables más significativas (Pragatheesh, A., y Rajvanshi, A. 2013).

Estudio realizado antes de la ampliación de la carretera genera los mismos puntos calientes que este estudio presenta (Arévalo-Huezo et al., 2016). No debería de ser ya que en la ampliación se incluyeron pasos de fauna, y luego de 5 años, prevalecen los atropellos.

Conclusión

Con base a los resultados del estudio se concluye que, si existe correlación entre las variables Atropellos y Curva A, Atropellos y Topografía de la carretera (incluyendo Con paredón, En la línea de vegetación, Debajo de la línea de vegetación, Encima de la línea de vegetación, Escalonada), y por último Atropellos y Uso de suelo (incluyendo Bosque, Cultivo y Potrero). Sin embargo, no muestra correlación entre los cuerpos de agua o las estructuras subterráneas y aéreas, y los atropellos, como se esperaba. Tampoco el flujo vehicular presentó significancia en el estudio.

Los mamíferos fue el grupo más registrado y los anfibios los menos registrados debido a las altas temperaturas que prevalecieron durante el tiempo de recolección de datos, debido a la sequía causada por el fenómeno del Niño. *Ctenosaura similis* es la especie más atropellada debido a la termorregulación y a sus hábitos generalistas, así como la *Rhinella horribilis* fue la segunda especie con más atropellos registrados.

Prevalecen los atropellos en la carretera incluso luego de la ampliación. Según esto, no solo se debe considerar el uso de pasos de fauna, sino las demás variables que fueron significantes para crear medidas de mitigación específicas para este tramo de carretera. Además, se recomienda realizar mayor cantidad de muestreos tanto en época seca como lluviosa.

Referencias Bibliográficas

Academia de Centroamérica. (2017). La infraestructura vial en Costa Rica: desafíos y oportunidades para las asociaciones público-privadas. Recuperado de: <https://www.academiaca.or.cr/wp-content/uploads/2017/12/PV-04-17.pdf>

ACG. (2012). ¿Qué es el Área de Conservación Guanacaste?. Recuperado de: <https://www.acguanacaste.ac.cr/acg/que-es-el-acg>

Análisis de flujo vehicular. (s.f.). Recuperado de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/analisis-de-flujo-vehicular-cal-y-mayor.pdf>

Arévalo-Huezo, E., Robledo-Bonilla, A., Pomareda-García, E y Araya-Gamboa, D. (2016). Evaluación de la mortalidad de la vida silvestre y la efectividad de los pasos de fauna en la Carretera Interamericana Norte, tramo Cañas-Liberia, Costa Rica. Universidad Latina de Costa Rica.

Arroyave, María del Pilar, Gómez, Carolina, Gutiérrez, María Elena, Múnera, Diana Paulina, Zapata, Paula Andrea, Vergara, Isabel Cristina, Andrade, Liliana María, y Ramos, Karen Cristina. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. Revista EIA, (5), 45-57.

Castillo-R, Julio César, Urmendez-M, Deisy, y Zambrano-G, Giselle. (2015). Mortalidad de fauna por atropello vehicular en un sector de la vía Panamericana entre Popayán y Patía. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 19(2), 207-219. <https://dx.doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.12>

D'Amico, M., Román, J., Clevenger, P., Leónidas de los Reyes, Périnet, S., Quirós, F., y Revilla, E. (2015). Ecología de Carreteras y mamíferos: atropellos, efecto barrera y medidas de mitigación. XII Congreso de la Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos (SECEM). Burgos, España. DOI: 10.13140

Domingo, G. y Agüero, J. (2013). Introducción a los SIG _ Software QGIS. INTA Ediciones. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_intro_qgis2.10_eea_la_rioja.pdf

Eloy-Seijas, A., Araujo-Quintero, A. y Nadines, V. (2013). Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela. Rev. Biol. Trop. 61 (4), 1619-1636. Francisco-López, José. (s.f.). Coeficiente de determinación (R cuadrado). Economipedia. Recuperado de: <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>

Gómez, A. (2010). Bases del conocimiento para contribuir al fortalecimiento y consolidación del corredor biológico Las Morocochas; Guanacaste, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Gómez, O. (1990). Construcción de carreteras y ordenamiento del territorio. Revista Mexicana De Sociología, 52(3), 49-67. DOI: 10.2307/3540706.

Hels, T. y Buchwald, E. (2001). The effect of road kills on amphibian populations. Biological Conservation 99(2001), 331-340.

Huijser, M., Abra, F., y Duffield, J. (2013). Mammal road mortality and cost-benefit analyses of mitigation measurements aimed at reducing collisions with capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) in Sao Paulo State, Brazil. Oecología Australis, 17(1), 129-146.

Instituto Meteorológico Nacional. (s.f.). Pronóstico climático estacional noviembre 2018 – marzo 2019. Recuperado de:

https://www.imn.ac.cr/documents/10179/29808/PerspClimCR_201810.pdf/07f56216-4b2b-4565-a4f1-acacc2c954a5

Mkanda, F. y Chansa, W. (2011). Changes in temporal and spatial pattern of road kills along the Lusaka-Mongu (M9) highway, Kafue National Park, Zambia. *South African Journal of Wildlife Research*, 41(1), 68-78.

Monge Velázquez, M. (2018). Herpetofauna atropellada en la Carretera Interamericana Norte, Guanacaste, Costa Rica: Influencia de los atributos del paisaje en las muertes y medidas para su mitigación. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

MOPT. (2016). En servicio proyecto Cañas y Liberia, rehabilitación y ampliación de la Interamericana Norte. Recuperado de: https://www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/noticias!/ut/p/z0/fczLCslwFATQX9GFy3BvX2m7LL5Qi4qrmo0kaSzRmtQatf69BRFcuRoG5gwwKIAZ_tAVd9oaXvd9z-hhsZ2jtwoxn9PdBLM0z6PZBoNwEcAS2P9B_6BP1yvLgDW8UqRUN10ZKLa2dbweTDunWmNHuLZOS83H9tLUyvFfJ61xqnNQNB-jvkabnvQpedva-03VPnp0hGVEEqPSPyEJiT0UZA0iqWJYip8TWiZehSaMxOvZzZ8AwaQZxs!/

Montenegro, H. (2018). Fauna silvestre atropellada en la vía Mamatoco – Minca, Santa Marta, Caribe Colombiano. Universidad del Magdalena. Recuperado de: <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/bitstream/123456789/753/1/BB-00109.pdf>

Orjuela, O., y Jiménez, G. (2004). Estudio de la abundancia relativa para mamíferos en diferentes tipos de coberturas y carretera, Finca Hacienda Cristales, área Cerritos – La Virginia, municipio de Pereira, Departamento de Risaralda – Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana*. Vol. 9, 87-96.

Pascual, Á. (2013). Estudio de la fragmentación del hábitat de anfibios por la carretera M-301 de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Pomareda, E., Araya-Gamboa, D., Ríos, Y., Arévalo, E., Aguilar, M. y Menacho, R. (2014). Guía Ambiental “Vías Amigables con la Vida Silvestre”. Comité Científico de la Comisión Vías y Vida Silvestre. Costa Rica. 75 pp.

Pragatheesh, A., y Rajvanshi, A. (2013). Spatial patterns and factors influencing the mortality of snakes on the National Highway-7 along Pench Tiger Reserve, Madhya Pradesh, India. *Oecología Australis*, 17(1), 20-35.

Rico-Guzmán, E., Cantó, J., Terrones, B. y Bonet, A. (2011). Encarnación, et al. “Impacto del tráfico rodado en el P.N. del Carrascal de la Font Roja: ¿cómo influyen las características de la carretera en los atropellos de vertebrados?”. *Galemys*. 23, ISSN 1137-8700, pp. 113-123

Rojas Chacón, E. (2011). Atropello de vertebrados en una carretera secundaria en Costa Rica. *UNED Research Journal / Cuadernos de Investigación UNED*, 3(1), 81-84.

SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2018). Diagnóstico del corredor Biológico Las Morocochas. Área de Conservación Guanacaste. Costa Rica. 124 pp.

SINAC. (s.f.). Área de Conservación Arenal Tempisque (ACAT). Recuperado de: <http://www.sinac.go.cr/ES/ac/acat/Paginas/default.aspx>

Torres, M. (2011). Funcionalidad de las estructuras subterráneas como pasos de fauna en la Carretera Interamericana Norte que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Urmendez, D., Castillo, J. y Zambrano, J. (2017). Mortalidad de vertebrados silvestres por atropello vehicular en 13 kilómetros de la Vía Panamericana en el municipio de Patía. Revista Novedades Colombianas, Vol. 12.

Valencia, J., Betancourt, R y Yáñez, P. (2012). La problemática de la disminución de las poblaciones de anfibios y reptiles en Ecuador. Universidad Iberoamericana del Ecuador. Recuperado de: file:///C:/Users/User/Downloads/YANEZ%20La%20problem%C3%A1tica%20de%20la%20disminuci%C3%B3n%20de%20anfibios_stamped.pdf

Vargas-Salinas, F., Delgado-Ospina, I. y López-Aranda, F. (2011). Amphibians and reptiles killed by motor vehicles in a Sub-Andean forest in western Colombia. *Caldasia*, 33(1), 121-138.