

UNIVERSIDAD NACIONAL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
INSTITUTO INTERNACIONAL EN CONSERVACIÓN Y MANEJO DE VIDA SILVESTRE

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LAS CARRETERAS NACIONALES PARA LA FAUNA
SILVESTRE Y EL USO DE CIENCIA CIUDADANA COMO HERRAMIENTA PARA EL
MONITOREO DE FAUNA SILVESTRE ATROPELLADA EN COSTA RICA.

Diego R. Gutiérrez Sanabria

Heredia, Junio de 2017

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

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LAS CARRETERAS NACIONALES PARA LA FAUNA SILVESTRE Y EL USO DE CIENCIA CIUDADANA COMO HERRAMIENTA PARA EL MONITOREO DE FAUNA SILVESTRE ATROPELLADA EN COSTA RICA

Diego R. Gutiérrez Sanabria

Tesis presentada para optar al grado de Magister Scientiae en Conservación y Manejo de Vida Silvestre. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional.

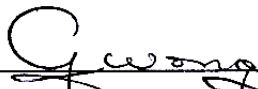
Heredia. Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador



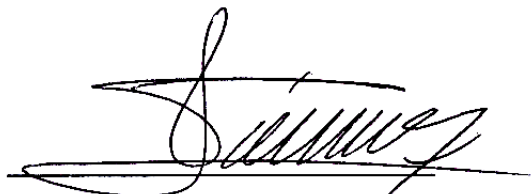
M.Sc. José Rodríguez Zelaya

Presidente del Consejo Central de Posgrado o su representante



Ph.D Grace Wong Reyes

Representante de la Coordinación de la Maestría



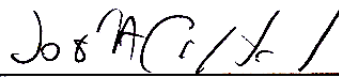
M.Sc. Joel Saenz

Tutor



Ph.D Manuel Spínola

Asesor



M.Sc. José Castro Solís

Asesor



Diego R. Gutiérrez Sanabria

Sustentante

RESUMEN

Costa Rica es el país con mayor densidad de carreteras en Centroamérica. Esta característica hace que indudablemente impacte la fauna silvestre de manera significativa, de muchas formas. Las carreteras que atraviesan el país, generan un efecto barrera, pérdida de calidad de hábitat para la fauna silvestre, pérdida de la conectividad de sus poblaciones, atropellamiento de individuos; además, de la proliferación de asentamientos humanos y la expansión de la red vial. No obstante, en el país se requiere de una actualización y priorización de investigaciones relacionadas al impacto de las carreteras, pues si bien, existen trabajos en secciones puntuales, muchas veces son realizadas bajo proyectos académicos en sitios donde se identifica por cercanía o eventos casuales que se está generando impacto sobre la biodiversidad. Además, la falta de datos de atropello de fauna, aumenta la necesidad de buscar otras alternativas de registro de fauna más constante y de menor costo que los estudios convencionales, pues estos últimos son ampliamente más costosos y esporádicos. En esta investigación, como primer objetivo se hizo una priorización de las carreteras con riesgo a generar mayor impacto sobre la biodiversidad (atropellamiento), usando un índice desarrollado por esta investigación y generando un conjunto de prioridades para la toma de decisiones. Como segundo objetivo, se desarrolló y evaluó el uso de una aplicación informática en una plataforma web ya existente, para ser usado por cualquier Smartphone, lo cual, representa una propuesta innovadora para la obtención de datos o eventos de atropello en las carreteras de Costa Rica. Por último, se usaron datos provenientes de esta aplicación, con una de las especies que más registros de atropellos registró, el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), con la finalidad de mostrar la utilidad de este tipo de información. Como último objetivo se determinó que variables de paisaje son las que más influyen en el atropello del oso hormiguero, usando modelos lineales generalizados. Se determinaron 23 segmentos de carreteras con alta prioridad, en donde se deben empezar a hacer estudios específicos relacionados con ecología de carreteras, ya sea porque atraviesan áreas importantes de biodiversidad (parques nacionales), y porque tiene planeación para ser modificadas o construidas en un futuro cercano. La mayoría de las carreteras identificadas como prioritarias e incluso las de mediana prioridad, superan los 3000 vehículos diarios de tráfico, lo cual es preocupante, si se tiene en cuenta, la proyección en el aumento de flujo vehicular en los próximos años aumentaría el efecto barrera de las carreteras hacia la fauna silvestre. Se recibieron 600 reportes de fauna

silvestre atropellada por parte de 20 ciudadanos usuarios de Smartphone con el 62% de datos con alta calidad, de las cuales siete usuarios representaron el 94% de los registros. El grupo más reportado fueron los mamíferos (261) seguido de los anfibios (135) y reptiles (86). Se reportaron 66 individuos atropellados de oso hormiguero, de los cuales se usaron 56 para realizar el análisis. El modelo conformado por las variables distancia al bosque más cercano y porcentaje de cobertura no forestal, influyeron de manera negativa y distancia al poblado más cercano con influencia positiva ($AICc= 165.0528$, $w=0.07$). El riesgo de colisión del oso hormiguero por vehículos en Costa Rica, puede ser predicho con variables de paisaje tomadas con Smartphone, GIS, y con datos de reportes confiables de los eventos de atropello. Aunque este tipo de colisiones ocurren en muchas de las vías de Costa Rica, el riesgo varía con las características de la carretera y los atributos de paisaje. Como conclusión vemos que existen 600 kilómetros de carretera que pueden representar alto riesgo de atropellamiento para la fauna silvestre. El proyecto Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica, mostro ser eficiente a la hora de registrar fauna atropellada, propósito para el cual fue creado, en donde la mayoría de reportes hechos fueron mamíferos de mediano porte. Y por último vemos que el oso hormiguero, una de las especies más reportadas en el proyecto propuesto tiene una alta probabilidad de atropello en secciones de carreteras con cercanía a bosque, bajo porcentaje de tierra no forestal y lejanía a poblados.

Palabras clave: Índice de prioridad de carreteras, ciencia ciudadana, Ecología de carreteras, fauna atropellada, oso hormiguero, Costa Rica

AGRADECIMIENTOS

A Diana Burbano por siempre acompañarme y apoyarme incondicionalmente en este viaje.

A mi padre y a mi madre por darme la oportunidad de seguir mi carrera profesional y por siempre apoyarme en las dificultades.

Al profe Joel Sáenz por dirigirme en este proceso, enseñarme y aconsejarme en la realización y escritura de este documento.

Al profe Manuel Spínola por su aportes en la revisión del documento y en la asesoría y revisión de los análisis estadísticos.

Al profe José Castro por sus comentarios en y aportes en el documento.

A Vero y Mariano por su amable y desinteresada hospitalidad en la última fase de esta travesía.

A todos los participantes de Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica, sin ellos no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

**En memoria de mi abuela Tere, de quien no me pude despedir
A mi abuelo Toño, que sigue como un roble a pesar de tener casi un centenario,
A mis padres, y mis Dianas**

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	4
LITERATURA CITADA.....	5
CAPÍTULO 1	7
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
AREA DE ESTUDIO	13
MÉTODOS.....	15
Análisis de datos.....	16
RESULTADOS.....	18
Carreteras de Prioridad alta.....	18
DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIONES.....	29
RECOMENDACIONES.....	30
LITERATURA CITADA.....	31
CAPÍTULO 2	37
RESUMEN.....	38
INTRODUCCIÓN.....	39
ÁREA DE ESTUDIO	42
METODOLOGÍA.....	43
Creación del proyecto “Fauna silvestre en carreteras de Costa Rica” para el registro de datos de fauna atropellada (FSCC).....	43
Componentes del aplicativo en la página web del proyecto.....	44
Estructura del proyecto Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica.....	47

RESULTADOS.....	49
DISCUSIÓN.....	57
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
LITERATURA CITADA	65
CAPÍTULO 3	70
RESUMEN.....	71
INTRODUCCIÓN.....	72
ÁREA DE ESTUDIO	75
MÉTODOS.....	77
Obtención de datos	77
Atributos de paisaje en los sitios de colisión.....	77
Análisis estadísticos.....	78
RESULTADOS.....	80
.....	84
DISCUSIÓN.....	85
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES.....	89
LITERATURA CITADA	90

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rutas identificadas como prioritarias según el índice propuesto. TPD (Tráfico Promedio Diario), Long Km (Longitud en Kilómetros)	20
Cuadro 2. Estadísticas del proyecto de fauna en carreteras de Costa Rica, en la plataforma Inaturalist.	51
Cuadro 3. Especies de Mamíferos reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.....	53
Cuadro 4. Especies de anfibios reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.	54
Cuadro 5. Especies de Reptiles reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.	55
Cuadro 6. Especies de Aves reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.	56
Cuadro 7. Promedio e Intervalo de confianza de las variables medidas para los sitios con atropellos de osos hormiguero y los puntos de control.	82
Cuadro 8. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de <i>T. mexicana</i> en las vías de Costa Rica.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Red vial terrestre de Costa Rica.	14
Figura 2. Modelo del impacto del tráfico vehicular en la fauna silvestre. Tomado de (Clevenger y Huijser 2011).	16
Figura 3. Rutas identificadas con alta (rojo), mediana (amarillo), y baja (verde) prioridad, según los criterios propuestos anteriormente.	19
Figura 4. Red vial de estratégica de Costa Rica con Jerarquización de alta capacidad (rojo) red vial estratégica de mediana capacidad (amarillo), red vial complementaria (verde). Tomado de Plan Nacional de Transporte, 2011.	22
Figura 5. Mapa de calor de los registros de atropellos de fauna silvestre obtenidos por medio del aplicativo (Fauna en carreteras de Costa Rica), junto con el mapa de riesgo de las carreteras del país.	23
Figura 6. Icono creado para identificar el proyecto en redes sociales y en la web.	44
Figura 7. Captura de pantalla de la aplicación de inaturalist para Android, en donde se observa los datos que se toman por defecto a la hora añadir un registro.	46
Figura 8. Tutorial para el ingreso de registros de fauna en carreteras.	46
Figura 9. Divulgación del proyecto por uno de los medios de mayor cobertura en Costa Rica.	47
Figura 10. Estructura del proyecto Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica.	48
Figura 11. Página web de la plataforma, en donde se muestran las estadísticas y los participantes en tiempo real.	49
Figura 12. Formato de registro de fauna del Proyecto FSCC.	50
Figura 13. Número de registros de fauna registrada en carreteras mostrada por grupos taxonómicos.	52
Figura 14 (A) Fotografía de reporte sin un objeto de referencia, (B) Fotografía con objeto de referencia de escala (C) Fotografía de serpiente que es poco útil para identificar la especie, (D) Fotografía de mamífero fácilmente identificable.	60
Figura 15. Los puntos negros indican los sitios de colisión con oso hormiguero (<i>Tamandua mexicana</i>); Las líneas grises indican las vías principales donde se reportaron los atropellos, y las áreas grises son las áreas protegidas de Costa Rica.	76
Figura 16. Reporte validado, en donde se tiene el registro fotográfico de la especie, la precisión geográfica con 9 metros de error, y una correcta identificación de la especie.	77
Figura 17. Gráfico para buscar puntos influyentes o datos atípicos en el modelo.	81
Figura 18. Gráfico de los residuos para cada variable dentro del mejor modelo.	82

Figura 19. Promediado de modelos para detectar las variables más influyentes en los sitios de atropello de *Tamandua mexicana*. 83

Figura 20. Efectos de las variables seleccionadas como importantes para la probabilidad de atropellos de oso hormiguero; A: efecto de la distancia al bosque; B: efecto del porcentaje de cobertura forestal; C: efecto de la distancia al poblado más cercano. 84

INTRODUCCIÓN

Las redes de transporte son vitales hoy en día para la economía y el desarrollo de la sociedad y de forma más acelerada en países en vía de desarrollo (Button y Hensher 2001). El rápido crecimiento de la población, ha generado un incremento en las infraestructuras, que lleva consigo redes viales de transporte la mayoría de las veces de forma descontrolada y sin una planeación eficiente. Estas redes no solo causan cambios evidentes en el aspecto físico del paisaje, sino que además alteran los patrones de movimiento de la fauna silvestre y las funciones del ecosistema dentro de este paisaje (Clevenger et al. 2002). Aunque la fragmentación del hábitat a causa de las carreteras es uno de los tópicos menos estudiados, los cambios que generan son más extremos y permanentes que otros tipos de impacto.

A nivel global, la colisión de vehículos con animales excede a la cacería como la principal causa directa de mortalidad de vertebrados terrestres (Forman y Alexander 1998). Las carreteras y el tráfico asociado impactan las poblaciones silvestres de cuatro formas: 1) detrimento de la calidad y cantidad de hábitat, 2) incremento de la mortalidad de animales por colisión; 3) limitación al acceso de recursos por parte de la fauna; y 4) fragmentación de las poblaciones en sub-poblaciones más pequeñas y vulnerables afectándolas genética y demográficamente (Jaeger et al. 2005). Además de estos impactos, las carreteras generan otros problemas ecológicos como la fragmentación de hábitat, el efecto barrera y de borde, creación de corredores, dispersión de especies exóticas, y disminución de la biodiversidad de fauna (Forman et al. 2003). Algunos efectos indirectos pueden ser, el cambio de las actividades reproductivas en la fauna silvestre, reduciendo las poblaciones causando inclusive la extinción local dentro de la región afectada. Forman y Alexander (1998) aseguran que los efectos causados por el ruido, la contaminación ambiental y visual producidos por el tráfico vehicular generan pérdidas más representativas para la fauna que el atropellamiento mismo en las vías.

Al crear barreras, las carreteras afectan la funcionalidad de los ecosistemas, principalmente los procesos hidrológicos, que a la vez afectan a otros procesos como la conectividad entre hábitats, productividad primaria, descomposición, ciclo de los nutrientes y disturbios en el régimen de lluvias, así como cambios en la frecuencia e intensidad de inundaciones (Jones et al. 2000). Estos efectos influyen en mayor o menor intensidad

según las características y requerimientos de hábitat de las especies, los tipos de carretera, la calidad del hábitat adyacente y la frecuencia y velocidad del tráfico (National Research Council 2005).

El efecto de las carreteras sobre las poblaciones de fauna silvestre es un enfoque de años recientes. Nuevas soluciones para este problema se han incrementado en la última década (Clevenger y Ford 2010). Una de esas soluciones son los pasos de fauna, diseñados e incorporados en las construcciones de carreteras o su expansión, para ayudar a restaurar y mantener el movimiento de animales a través de las carreteras. Sin embargo, estas soluciones se han llevado a cabo principalmente en Europa y Norteamérica (Forman et al. 2003), en donde se han hecho esfuerzos de seguimiento para verificar su efectividad (Beckmann 2010).

En países del Neotrópico, el estudio sobre estos aspectos es muy limitado. Estos acercamientos se han enfocado principalmente en la valoración del impacto de las carreteras por atropellamientos, y muchas veces de forma descriptiva, dejando de lado las posibles medidas de mitigación en cada contexto (Prada 2004, Coelho et al. 2008). Además, en la mayoría de los países, las evaluaciones del impacto de las carreteras y sus posibles mitigaciones son muy escasas y por lo general inadecuadas, enfocándose principalmente en un diagnóstico de fauna y flora del área de influencia (Arroyave et al. 2006).

Durante los últimos años los principales impactos originados por el transporte han sido abordados a través de iniciativas políticas, planes y análisis de nuevos programas de transportes, así como el uso de nuevas tecnologías (Beckman et al. 2010). Sin embargo, recientemente ha incursionado una nueva disciplina denominada la ecología del camino, que estudia la relación entre el medio natural y los sistemas viales (Forman et al. 2003) y está proporcionando herramientas para reducir los impactos directos de los sistemas viales (como las carreteras) sobre la vida silvestre.

El Plan Nacional de Transporte de Costa Rica, desarrollado por el MOPT (2011) plantea la ampliación de vías nacionales y remodelación de vías vecinales, lo cual hace necesario la búsqueda de mitigaciones con respecto al impacto de las carreteras que serán asfaltas y ampliadas como consecuencia de la edificación de esta infraestructura, y de esa manera recuperar niveles de conectividad de las poblaciones de animales,

disminuir la colisión vehículo-fauna silvestre, y permitir el flujo de genes, en zonas de gran valor para la conservación de la biodiversidad. En ese sentido, este estudio servirá como insumo a considerar para la toma de decisiones en cuanto a la priorización de estudios, además, describe la ciencia ciudadana como una herramienta útil para la evaluación y monitoreo de las vías en Costa Rica.

Esta tesis se encuentra dividida en tres capítulos. El primero está relacionado con la identificación de rutas que pueden generar alto riesgo sobre la fauna silvestre, en las carreteras de Costa Rica, haciendo un análisis para todo el sistema vial de Costa Rica, para luego hacer una priorización de las mismas. El segundo comprende la descripción y diseño de un aplicativo (sitio web) que permitirá la recolección de datos por personas no científicas usando su Smartphone, dentro del concepto de ciencia ciudadana en las carreteras de Costa Rica, mostrando sus fortalezas y debilidades. En el tercer y último capítulo, muestra el uso y análisis de datos adquiridos en la plataforma de ciencia ciudadana, tomando como estudio de caso el oso hormiguero en Costa Rica.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el riesgo de las carreteras nacionales para la fauna silvestre y el uso de ciencia ciudadana como herramienta para el monitoreo de fauna silvestre atropellada en Costa Rica

Objetivos Específicos

- Identificar las carreteras nacionales con alto riesgo que pueden generar atropellamiento sobre la fauna silvestre en Costa Rica.
- Desarrollar un proyecto de ciencia ciudadana bajo la plataforma de inaturalist, como herramienta para monitorear las especies afectadas por carreteras en Costa Rica.
- Determinar las características del paisaje que influyen en la probabilidad de atropello del oso hormiguero, usando datos obtenidos a través de ciencia ciudadana.

LITERATURA CITADA

- Arroyave, M. del P., C. Gómez, M. E. Gutiérrez, D. P. Múnera, P. A. Zapata, I. C. Vergara, L. M. Andrade, y K. C. Ramos. 2006. Impactos de las Carreteras Sobre la Fauna Silvestre y sus Principales Medidas de Manejo. *Revista EIA* 5:45–57.
- Beckmann, J. P. 2010. *Safe passages : highways, wildlife, and habitat connectivity*. Island Press, Washington.
- Button, K., y D. A. Hensher. 2001. *Handbook of transportation systems*. Pergamon Press, New York.
- Clevenger, A. P., B. Chruszcz, K. Gunson, y J. Wierzchowski. 2002. *Roads and wildlife in the Canadian Rocky Mountain Parks - Movements, mortality and mitigation Final report to Parks Canada*. Banff, Alberta, Canada.
- Clevenger, A. P., y A. T. Ford. 2010. *Wildlife Crossing Structures, Fencing, and Other Highway Design Considerations*. Page 396 in P. J. Beckmann, A. P. Clevenger, M. Huijser, and J. A. Hilty, editors. *safe passages highways wildlife and habitat connectivity*. Island Press, Washington D.C.
- Coelho, I., A. Kindel, y A. Coelho. 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research* 54:689–699. Springer Berlin / Heidelberg.
<<http://dx.doi.org/10.1007/s10344-008-0197-4>>.
- Forman, R. T., D. Sperling, J. A. Bissonette, A. P. Clevenger, D. C. Cutshall, V. H. Dale, L. Fahri, R. France, C. R. Goldman, K. Heanue, J. A. Jones, F. J. Swanson, T. Turrentine, y T. C. Winter. 2003. *Road ecology: science and solutions*. Island Press, Washington D.C.
- Forman, R. T. T., y L. E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29:207–231. *Annual Reviews*.
<<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>>.

- Jaeger, J. A. G., J. Bowman, J. Brennan, L. Fahrig, D. Bert, J. Bouchard, N. Charbonneau, K. Frank, B. Gruber, y K. T. von Toschanowitz. 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling* 185:329–348.
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380005000050>>.
- Jones, J. A., F. J. Swanson, B. C. Wemple, y K. U. Snyder. 2000. Effects of Roads on Hydrology, Geomorphology, and Disturbance Patches in Stream Networks. *Conservation Biology* 14:76–85. Blackwell Science Inc.
<<http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99083.x>>.
- MOPT. 2011. Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. Costa Rica.
- National Research Council. 2005. Assessing and managing the ecological impacts of paved roads. National Academy Press, Washington D.C.
- Prada, C. S. 2004. Atropelamiento de vertebrados silvestres em uma região fragmentada do nordeste do Estado de São Paulo: quantificação do impacto e análises de fatores envolvidos. UFSCAR, São Carlos.

CAPÍTULO 1

IDENTIFICACIÓN DE CARRETERAS NACIONALES CON ALTO RIESGO QUE PUEDEN GENERAR ATROPELLAMIENTO SOBRE LA FAUNA SILVESTRE EN COSTA RICA.

Por:

Diego Rolando Gutiérrez Sanabria

2017

RESUMEN

Costa Rica es el país con mayor densidad de carreteras en Centroamérica. Esta característica hace que indudablemente impacte la fauna silvestre y de muchas formas como: el efecto barrera, pérdida de calidad de hábitat para la fauna silvestre y pérdida de la conectividad de sus poblaciones. En este capítulo, se identificó que segmentos o tramos de las carreteras nacionales son prioritarios para realizar estudios de impacto (atropellamiento) hacia la fauna silvestre, medidas de mitigación, y monitoreo en Costa Rica. Para ello, se generó un “ranking” de carreteras prioritarias usando el índice de priorización en combinación con el uso de sistemas de información geográfica (SIG), teniendo en cuenta las áreas protegidas del país bajo alguna categoría de manejo, los nuevos proyectos de carreteras en ejecución, por realizarse a corto, mediano y largo plazo, esto último de acuerdo al plan estratégico del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT). Además, se usaron datos de tráfico vehicular diario, obtenidos a partir del anuario de información de tránsito del MOPT. Los resultados muestran 23 segmentos de carreteras de la red vial nacional que van desde 3.5 Km (ruta 34- Hacienda Barú) a 80 Km con alta prioridad, resaltando nueve secciones ubicadas dentro de áreas silvestre protegidas con alguna categoría de manejo. Aunque muchas rutas quedaron con prioridad media, cabe resaltar que existieron vías que atraviesan parques nacionales contiguos, como la ruta seis, que merecen atención especial. Asimismo, se recomienda elaborar una base de datos a nivel nacional de registro de animales en carreteras, tanto los cruces con éxito, como animales atropellados, para complementar los resultados de este estudio y dar una mejor visión sobre la relación de las carreteras-fauna silvestre. .

Palabras clave: Áreas protegidas, planificación de vías, tráfico vehicular, fauna atropellada.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras proporcionan transporte y vías de acceso para los humanos, pero a menudo tienen un alto impacto para la vida silvestre. El efecto de las carreteras y el tráfico vehicular sobre el hábitat de la fauna silvestre tienen un gran alcance afectando tanto al ambiente biótico como abiótico. A nivel mundial las estimaciones sugieren que alrededor del 20 % de las tierras en países desarrollados está afectadas por las carreteras (Forman 2000). Si bien, al construir una carretera el área afectada de modo directo puede ser relativamente pequeña, la fragmentación del hábitat tiene dos efectos principales que amenazan la persistencia de las especies que viven aledañas a las carreteras, denominados el efecto barrera y el efecto de borde.

El efecto barrera, se produce cuando se impide la movilidad de los organismos o de sus actividades reproductivas, lo que trae consigo una limitación en el potencial de los organismos para su dispersión, reproducción y colonización. Muchas especies de insectos, aves y mamíferos no cruzan las carreteras; por lo tanto, las plantas que tienen frutos o semillas que se dispersan por animales se verán afectadas también. Debido a este efecto, muchos animales que consumen recursos que se encuentran dispersos no pueden moverse libremente a través del terreno y las especies que dependen de éstos, se ven limitadas en su alimentación, por no poder acceder a los hábitats vecinos (Beckmann et al. 2010).

El efecto barrera tiende a crear subpoblaciones que fluctúan más en el tiempo y tienen una mayor probabilidad de extinción que las poblaciones de mayor tamaño (Primack 2014). Algunas de ellas tienen un tamaño tan pequeño, que no alcanzan a ser viables, porque no se dan los procesos reproductivos, lo que puede llevar a posibles extinciones locales. Asimismo, el proceso de recolonización se disminuye por las barreras impuestas por la carretera; y es posible que se afecten muchas especies cerca de la red de carreteras, disminuyendo aún más la variabilidad genética entre las poblaciones (Forman y Alexander 1998). Según Primack (2014), los caminos y carreteras rompen la continuidad del dosel e interrumpen las posibilidades de movilidad de los animales. Esto es especialmente válido para algunas especies de primates que no acostumbran descender a los estratos inferiores. Las barreras también pueden restringir la habilidad de los organismos de encontrar sus parejas, lo que puede llevar a la pérdida de su potencial reproductivo.

La circulación de vehículos por las carreteras no sólo impacta la fauna por el atropellamiento, que causa muertes directas a miles de individuos, sino que genera cambios en sus actividades reproductivas, los cuales pueden tener efectos reductivos en las poblaciones y causar extinción local dentro de la región afectada. Otros factores ocasionados por el funcionamiento de las carreteras que tienen un efecto sobre la fauna son el movimiento mismo de los vehículos, las vibraciones, las luces artificiales y la presencia humana (Goosem 2002); aunque varios autores coinciden en que el ruido, es el factor que más influye negativamente en las poblaciones de animales silvestres (Forman y Alexander 1998, Spellerberg 1998, Goosem 2002).

Aunque el efecto de las carreteras ha sido ampliamente documentado durante muchas décadas, principalmente en países desarrollados (Spellerberg 1998b, Forman et al. 2003, Clevenger y Ford 2010), en Costa Rica, uno de los países más biodiversos del mundo, de la cual deriva la principal economía del país (Altés 2006), este tema ha sido poco abordado, principalmente por las entidades gubernamentales (Lobo-Gonzales et al. 2010), o ha pasado a un segundo plano.

El proceso de planificación del transporte de un país ofrece muchas oportunidades para mejorar las condiciones de la vida silvestre y las actividades de conservación. La primera y mejor opción para la protección de la vida silvestre, es evitar la construcción de carreteras en zonas de importancia ecológica. Este proceso se realiza a través de numerosas fases, donde la información de sitios de conservación espacialmente explícita pueden ayudar a tomar las decisiones de transporte (White et al. 2007). Además, existen mecanismos para avanzar en la protección de la vida silvestre mediante mejores prácticas en la gestión de transporte y planes de manejo, para minimizar impactos adicionales de las carreteras existentes y futuras. La integración general de la vida silvestre y ecológica en la planificación del transporte y/o planificación de ubicaciones de carretera pueden evitar hábitats sensibles y recursos naturales importantes. Facilitar esta integración es un papel clave para las agencias del gobierno encargadas de la vida silvestre (Michalak y Lerner 2007). No obstante, La información sobre qué, dónde y cómo las carreteras son una amenaza, es la clave para una gestión adecuada del impacto de las carreteras sobre la biodiversidad. Sin embargo, esta información es incompleta y tiene muchos vacíos.

En países como Canadá, Estados Unidos, Europa y Australia, la priorización de vías a evaluar y monitorear, se realizan principalmente debido a la necesidad de prevenir accidentes con grandes mamíferos (*Alces alces*, *Ursus americanus*, *Odocoileus virginianus*) (Brandenburg 1996, Kobler and Adamic 1999, Huseby 2013, Morelle et al. 2013, Niemi et al. 2015) y aves (*Casuaris casuaris*) (Kofron y Chapman 2006), que alguno de ellos pueden ocasionar colisiones fatales y pérdidas económicas enormes a los automotores. Como consecuencia, estos países manejan grandes bases de datos debido a los reportes de accidentes hechos por los ciudadanos, que son recopilados durante años por ministerios de transporte y otras entidades gubernamentales; además, de las aseguradoras, lo que ayuda a priorizar las carreteras, así como hacia donde se deben direccionar las medidas de mitigación para evitar estos accidentes. En Quebec por ejemplo, se hizo un estudio con datos recopilados por el ministerio de transporte de Quebec en un periodo de 1990-2002 (Dussault et al. 2006) para realizar las medidas de mitigación.

Debido a que Costa Rica es uno de los países con mayor densidad de carreteras de Centroamérica (Banco Mundial 2015), se hace necesario valorar en donde estas infraestructuras pueden estar afectando la vida silvestre para tomar decisiones y realizar estudios y programas de monitoreo que ayuden a disminuir ese impacto, pues la mayoría de colisiones con fauna, son eventos no reportados, porque no dañan sustancialmente el vehículo, o muy pocas veces ocurren colisiones fatales de personas. Asimismo, alguno de los estudios realizados, se han hecho porque ocurren eventos puntuales como la muerte de dantas (*Tapirus bairdii*) en el Cerro de la Muerte, o porque las vías cruzan importantes parques nacionales, ignorando muchas veces otras vías que pueden estar causando un impacto considerable a la fauna silvestre.

Existen diferentes estudios en donde se han reportado que las vías bajo ciertas características, tanto de paisaje, como de las vías mismas pueden impactar en mayor o menor medida la fauna silvestre (Malo et al. 2004, Seiler 2005, Barthelmess 2014, de Freitas et al. 2015). Una de estas características es la presencia de carreteras en áreas protegidas, las cuales son muchas veces catalogadas como sitios con alta biodiversidad (Arment et al 2008). El flujo vehicular es otro de los factores que mayor impacta la fauna silvestre y de muchas formas, como el atropello de individuos, cambio de comportamiento de las especies, y la contaminación por mencionar algunos (Forman y Alexander 1998).

En este sentido, el objetivo fue desarrollar un índice considerando, las áreas con alguna categoría de manejo que atraviesa la carretera, tráfico vehicular y plan de construcción o ampliación de carreteras. Lo anterior como una aproximación para identificar las carreteras con mayor probabilidad de generar atropellamiento de fauna silvestre.

AREA DE ESTUDIO

Costa Rica está ubicada en la parte sur de Centroamérica dentro de la zona conocida como Neotrópico en las coordenadas 8°30' y 11°15' Latitud Norte y Longitud Oeste entre 82°30' y 86°00' (ITCR 2000). La superficie total de Costa Rica es de 51.100km², de los cuales 51.060 corresponden a superficie terrestre (ITCR 2004). Actualmente se puede estimar que Costa Rica tiene una red vial de 40.000 kilómetros, con cerca de 10.000 kilómetros pavimentados y, en casi su totalidad son carreteras de doble carril y 30.000 Kilómetros en lastre (MOPT 2011). Muchos de los tramos de estas carreteras atraviesan o borden áreas silvestres protegidas, algunas con alta diversidad biológica

De acuerdo al Banco mundial, Costa Rica tiene una densidad de carreteras de 83 Km / 100 Km², que comparado con El Salvador (34,7 Km/ 100 Km²) y Panamá (20,3 Km/ 100 Km²), Lo convierten en el país con más densidad de carreteras en Centroamérica, lo que hace que este país genere un impacto considerable sobre la biodiversidad local y de la región. La red vial de Costa Rica contiene cinco tipos de carreteras (Figura. 1), de acuerdo a sus características de flujo vehicular, ancho y si son o no pavimentadas (MOPT 2011). Aquí nos centramos en las carreteras primarias, secundarias, y terciarias, que por sus características pueden tener un impacto significativo sobre la fauna silvestre.

El país se caracteriza por presentar gran variación climática incluso en distancias cortas. Las temperaturas promedio máximas mensuales sobre el nivel del mar son 29.9°C en el lado Caribe y 32.6°C en el lado pacífico, mientras que la temperatura promedio máxima mensual en el Cerro Chirripó, el pico más alto del país es de 7.2°C (Hammel et al. 2004). Existen, además, frentes fríos que traen aire seco y frío del Norte del continente y que es otra variación que se debe a la interacción que presentan los diferentes sistemas de viento que afectan al país y la topografía variada.

Dos sistemas montañosos corren longitudinalmente sobre la parte central del país: la Cordillera Volcánica del Norte y la Cordillera de Talamanca al sur, las cuales determinan la división del país en tres regiones fisiográficas: norte, central y sur (IMN 2007).

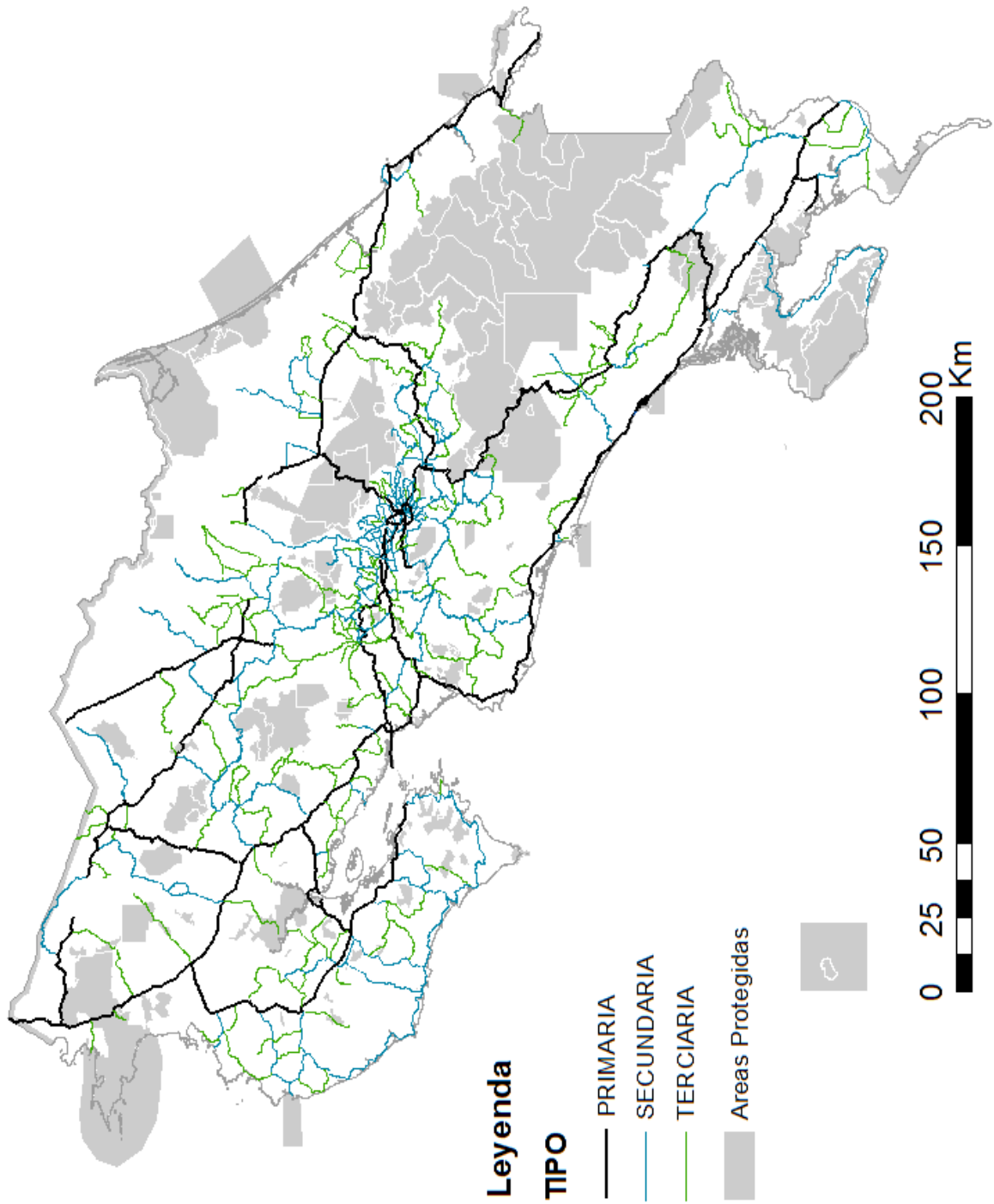


Figura 1. Red vial terrestre de Costa Rica.

MÉTODOS

Para establecer las secciones de carreteras consideradas como de mayor riesgo de atropellamiento, se realizó un “ranking” de prioridades, definido de acuerdo a aspectos de ubicación de la carretera y desarrollo vial en la red de transporte de Costa Rica, con respecto al impacto de las vías sobre la fauna silvestre. Para cumplir con lo anterior se desarrolló un índice de priorización de carreta (Pr) en donde se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

1. Que la carretera se encuentre dentro o alrededor de un área protegida, sea este parque nacional, refugio de vida silvestre, reserva forestal o cualquier otra categoría de protección y manejo utilizado en Costa Rica.
2. Que se encuentre dentro de algún corredor biológico, como figura de gestión de la biodiversidad, por su función primordial, de fortalecer las áreas protegidas nacionales, y permitir conectividad de poblaciones de especies (SINAC 2008).
3. Tráfico promedio diario vehicular en las carreteras de Costa Rica, teniendo como premisa, el efecto que este tiene sobre el comportamiento, y la viabilidad poblacional de las especies a lo largo del tiempo, según el modelo propuesto por Gubbi et al.(2012). En este sentido se categorizó de acuerdo a los niveles de tráfico promedio diario (TPD), Bajo: < 2500 vehículos x día; Medio: 2500 a 10000 vehículos x día y Alto: >10000 carros x día. Esta categorización se hizo de acuerdo al modelo conceptual mostrado en la Figura 2, la cual describe el efecto del volumen de tráfico sobre la fauna silvestre.

Se puede observar, que a un tráfico menor, existe poco impacto y se da el éxito de cruce de animales. A nivel medio se aumenta drásticamente la probabilidad de que los animales mueran atropellados al intentar cruzar, y a un tráfico alto, existe un rechazo casi total de los animales por intentar cruzar la carretera.

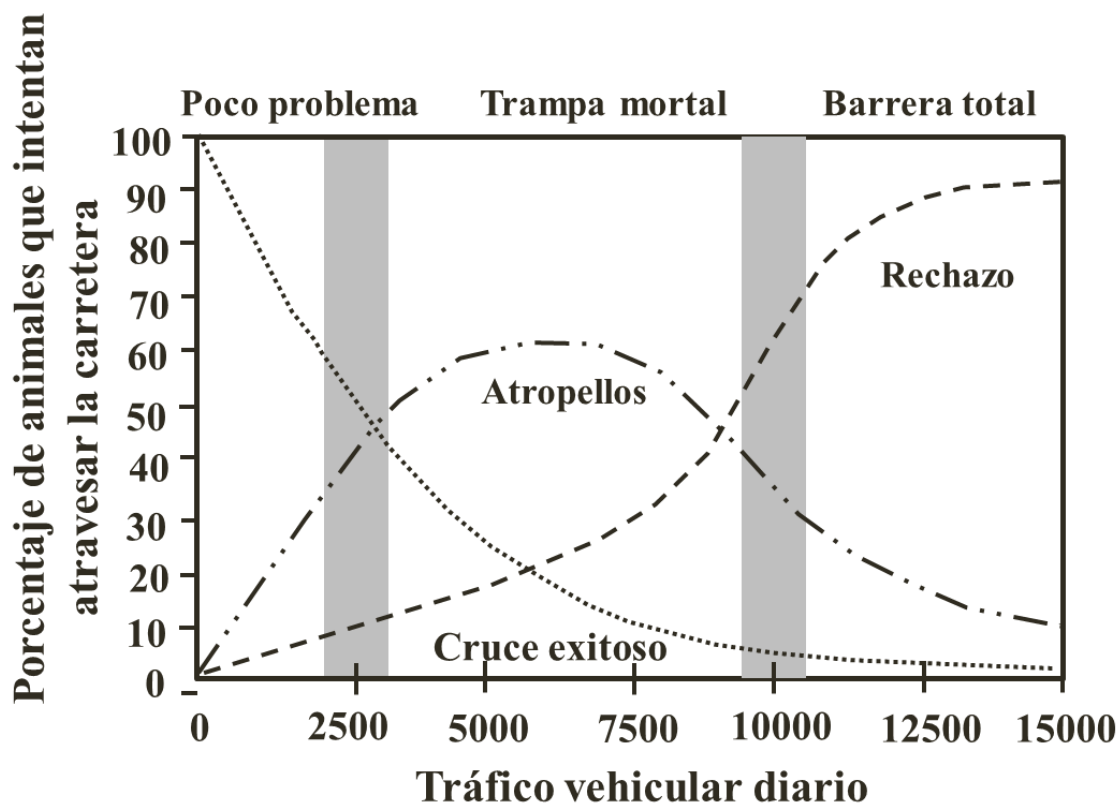


Figura 2. Modelo del impacto del tráfico vehicular en la fauna silvestre. Tomado de (Clevenger y Huijser 2011).

4. Por último, se tuvo en cuenta los proyectos de infraestructura vial como el mejoramiento de carreteras y las ampliaciones estratégicas que se piensan hacer en Costa Rica según el Plan Nacional de transportes de Costa Rica 2011-2035 (Decreto 37.738-MOPT) están en ejecución, a corto, mediano y largo plazo (MOPT 2011). Lo anterior se propone, teniendo como premisa, que una ampliación o mejoramiento de la vía puede aumentar el flujo vehicular, y aumentar el área de carreteras que los animales deberá cruzar, aumentando el riesgo de impacto sobre la fauna silvestre. Por lo tanto, se asignaron los siguientes valores: a) carreteras con trabajos de mejoramiento a Corto plazo: 2, b) Mediano plazo: 1, c) Largo plazo: 0.5.

Análisis de datos

Se usó el Sistema de Información Geográfica, para reclasificar y ponderar las carreteras usando la capa de áreas protegidas y las capas de red de caminos del atlas de Costa Rica (ITEC 2014), con los respectivos valores y categorías mencionadas anteriormente en las áreas protegidas o con alguna categoría de manejo, volumen de

tráfico vehicular, y proyectos de infraestructura vial, asignando una puntuación de la siguiente manera:

1. Áreas protegidas o con alguna categoría de manejo.

- a. Parque nacional: 4
- b. Otra categoría de protección: 3
- c. Corredor biológico: 2
- d. Ninguno: 1

2. Proyectos de infraestructura vial.

- a. Inmediato: 3
- b. Corto plazo (2018-2025): 2
- c. Mediano plazo (2025-2035): 1
- d. Largo plazo (2035-en adelante): 0.5

3. Volumen de tráfico vehicular (TPD)

- a. Alto (2500-10000): 3
- b. Medio (> 10000): 2
- c. Bajo (< 2500): 1

Con estos valores se realizó una ponderación a cada una de las secciones de carreteras primarias y secundarias y terciarias del país usando el índice de priorización propuesto, obteniendo como resultado un “ranking” de carreteras prioritarias que requieren con más urgencia estudios de impacto sobre fauna silvestre, y así programar adecuadamente las medidas de mitigación en proyectos futuros de construcción o ampliación de carreteras de acuerdo a las necesidades de carretera. Este “ranking” se obtuvo de acuerdo al valor del índice y su cálculo es como sigue:

$$Pr = \frac{A + Pv + TPD}{3}$$

En donde Pr es el nivel de prioridad, (A) es el valor de Área protegida, (Pv) el proyecto vial. Y (TPD) es el tráfico promedio diario. De acuerdo a esto, valores ≤ 1.46 serán de baja prioridad, valores > 1.46 y ≤ 1.96 de prioridad media, y valores > 1.96 las carreteras

RESULTADOS

Carreteras de Prioridad alta

El índice identificó un total de 23 segmentos de carreteras con alta prioridad, con un total de 600 kilómetros de carreteras nacionales que requieren de monitoreo de atropellamiento de fauna silvestre, resaltando nueve secciones dentro de áreas protegidas o áreas con alguna categoría de manejo (Fig. 3). Los segmentos identificados tuvieron extensiones que varían entre 3.5 Km (ruta 34- Hacienda Barú) a 80 Km (ruta 2 parque nacional Tapantí y reserva forestal los Santos) con un promedio de 26 Km de longitud por segmento. La ruta 1 tuvo cuatro segmentos con alta prioridad, la ruta 34 con tres segmentos, la ruta 4 con dos, la ruta 32 con dos segmentos, y las rutas: 2, 6, 10, 18, 21, 27, 36, 126, 142 145, 239 y 415 con un solo segmento de alta prioridad (Cuadro 1). De acuerdo al índice, existen tres rutas (6, 21 y 126) que si bien, no están dentro de un área protegida, cruzan en medio de dos áreas importantes de bosques. La ruta 6 atraviesa la zona protectora Miravalles, y el Parque Nacional Volcán Tenorio, La ruta 21 pasa en medio de la reserva indígena Matambú y el Parque Nacional Barra Honda, mientras que la ruta 126 pasa por el centro de la Reserva Forestal de la Cordillera Volcánica Central, y el Parque Nacional Volcán Poas (Figura. 3).

En promedio las carreteras encontradas como prioritarias tuvieron un Trafico Promedio Diario (TPD) de 5700 vehículos por día (Cuadro 1), lo cual según el modelo propuesto por Clevenger y Huijer (2011) estarían en un rango promedio de tráfico; en donde la probabilidad de muerte aumenta de forma vertiginosa para los animales que intentan cruzar la carretera. Además, hubo tres rutas de especial interés, pues sobrepasan los 10 000 vehículos diarios, hecho que las convierte en una barrera casi total para las especies. La ruta 27 entre Calderas y Matamoros, tiene un TPD de 21,441 vehículos, convirtiéndola en la ruta prioritaria por el mayor flujo vehicular. Esta ruta, atraviesa la zona protectora Tivives la cual además de que se ve afectada por la carretera, no tiene otra área protectora cercana. Con respecto a la ruta 32 que atraviesa el Parque Nacional Braulio Carrillo y bordea el corredor biológico Guácimo, es la tercera ruta con mayor flujo vehicular con 13,245 vehículos/día. Por último, la ruta 34 que bordea el Parque Nacional Carara es la segunda ruta de mayor flujo con 15,124 vehículos/día.

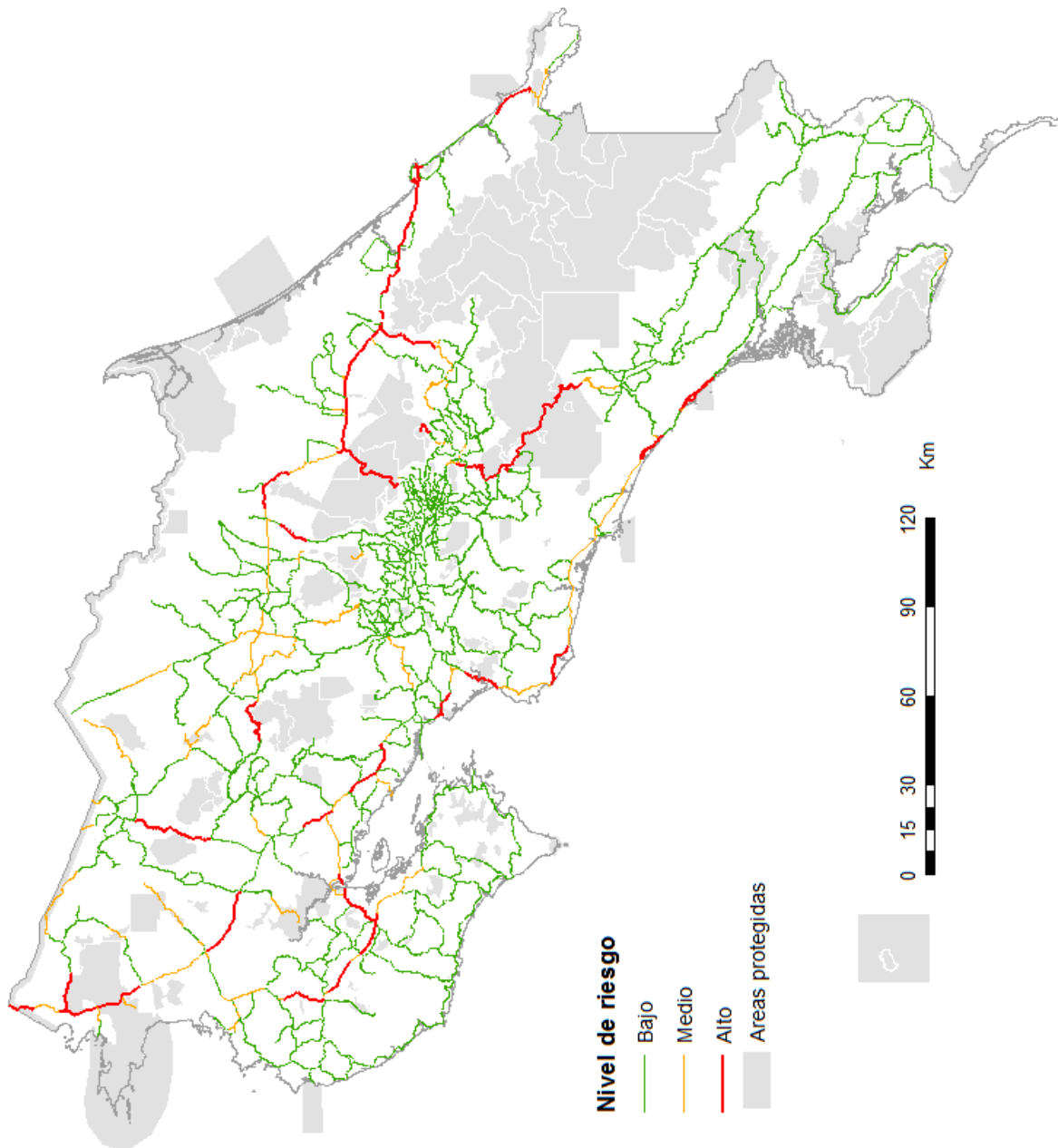


Figura 3. Rutas identificadas con alta (rojo), mediana (amarillo), y baja (verde) prioridad, según los criterios propuestos anteriormente.

Con respecto a los proyectos de infraestructura vial, se encontraron secciones en la ruta 1, 4 y 34 que tienen trabajos ya avalados y en ejecución por parte del MOPT.

Cuadro 1. Rutas identificadas como prioritarias según el índice propuesto. TPD (Tráfico Promedio Diario), Long Km (Longitud en Kilómetros)

Ruta	Sección	TPD	LongKm	Estudios Realizados
1	S. Rosa - Guanacaste	8616	27	(Lobo-Gonzales et al. 2010, Torres 2011, Saenz 2012)
1	Bagaces	8015	25,3	-----
1	Cañas-Liberia	9203	8,4	(Arévalo-Huezo y Pomareda 2013)
1	Barranca-Cañas	9203	38,8	-----
2	La Paz-División	3721	80	(Monge et al. 2013)
4	S. Rosa	1017	14,2	-----
4	Bajo Chilamate-P. Viejo	5197	21	(Aguilar y Gamboa 2013) (Carvajal et al. 2015)
6	Canalete- H. Valle del Viento	738	32	-----
10	Coco-Angostura	2522	40	-----
18	Guapinol-Zonzapote	721	7,4	-----
21	Ángeles-San Joaquín	3536	11	-----
27	Caldera-Matamoros	2144 1	10	-----
32	Liverpool-Brooklin	1324 5	50	(Artavia 2015)
32	Braulio-Guácimo	1324 5	65	(Artavia 2015)
34	Carara-Q.Ganado-S. Jerónimo	1512 4	16	(Arce et al. 2012)
34	Barú	4289	3,4	(García 2013, Villalobos 2013)
34	Uvita	4289	17	(García 2013)
36	Cahuita-Cruce Bribri	3596	21	-----
126	Cinco esquinas-El Roble	2000	47	-----
142	Arenal. Unión-Palma	4097	12,5	-----
145	San Antonio-Candelaria	850	10,5	-----
239	Zapotal-Guarumal	1043	13	-----
415	Turrialba-Herediana	800	43	(Araya y Salom-Perez 2013)

La ruta 1 terminó la ampliación de dos a cuatro carriles en la sección de Cañas-Liberia, la cual posee algunos pasos de fauna subterráneos ubicados empíricamente. Por otra parte, la ruta 4 se está mejorando con la construcción de Bajos de Chilamate-Vuelta Kooper.

Con respecto a la ruta 34 a nivel de la costanera Sur se están realizando mejoramientos de la ruta. Para la ruta 32 de acuerdo con el MOPT, se estará realizando próximamente la ampliación de dos a cuatro carriles desde Río Frio hasta Limón por la empresa China Harbour Engineering Company (CHEC).

De acuerdo al plan nacional de carreteras, existen, además, varias vías estratégicas a corto mediano y largo plazo, que conectarán varias zonas del país. Se han definido dos niveles jerárquicos, el primero son las rutas de alta capacidad, y el segundo de mediana capacidad para la distribución de los tráficos hacia los principales centros de población (figura 4) (MOPT 2011). Esta jerarquización podría estar de forma indirecta, generando un efecto barrera muy alto, en zonas sensibles de alta biodiversidad, como las mencionadas anteriormente, pues muchas de estas rutas de alta capacidad son pensadas para velocidades vehiculares que van desde los 80 Km hasta los 120 Km/ hora, las cuales se pretenden adaptar a doble calzada con un ancho no menor a los 24 metros, alcanzando hasta los 48 metros en algunos casos (PNT MOPT 2011).



Figura 4. Red vial de estratégica de Costa Rica con Jerarquización de alta capacidad (rojo) red vial estratégica de mediana capacidad (amarillo), red vial complementaria (verde). Tomado de Plan Nacional de Transporte, 2011.

Al realizar un solapamiento entre las secciones de carreteras encontradas con alto riesgo, y el mapa de calor de atropellos que se registraron por medio del aplicativo (Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica), se observa como 11 de los 14 puntos calientes encontrados concuerdan con vías identificadas con mayor riesgo, algo que valida la metodología empleada, la cual con un poco de mayor refinación puede dar resultados más precisos. (Figura 5).

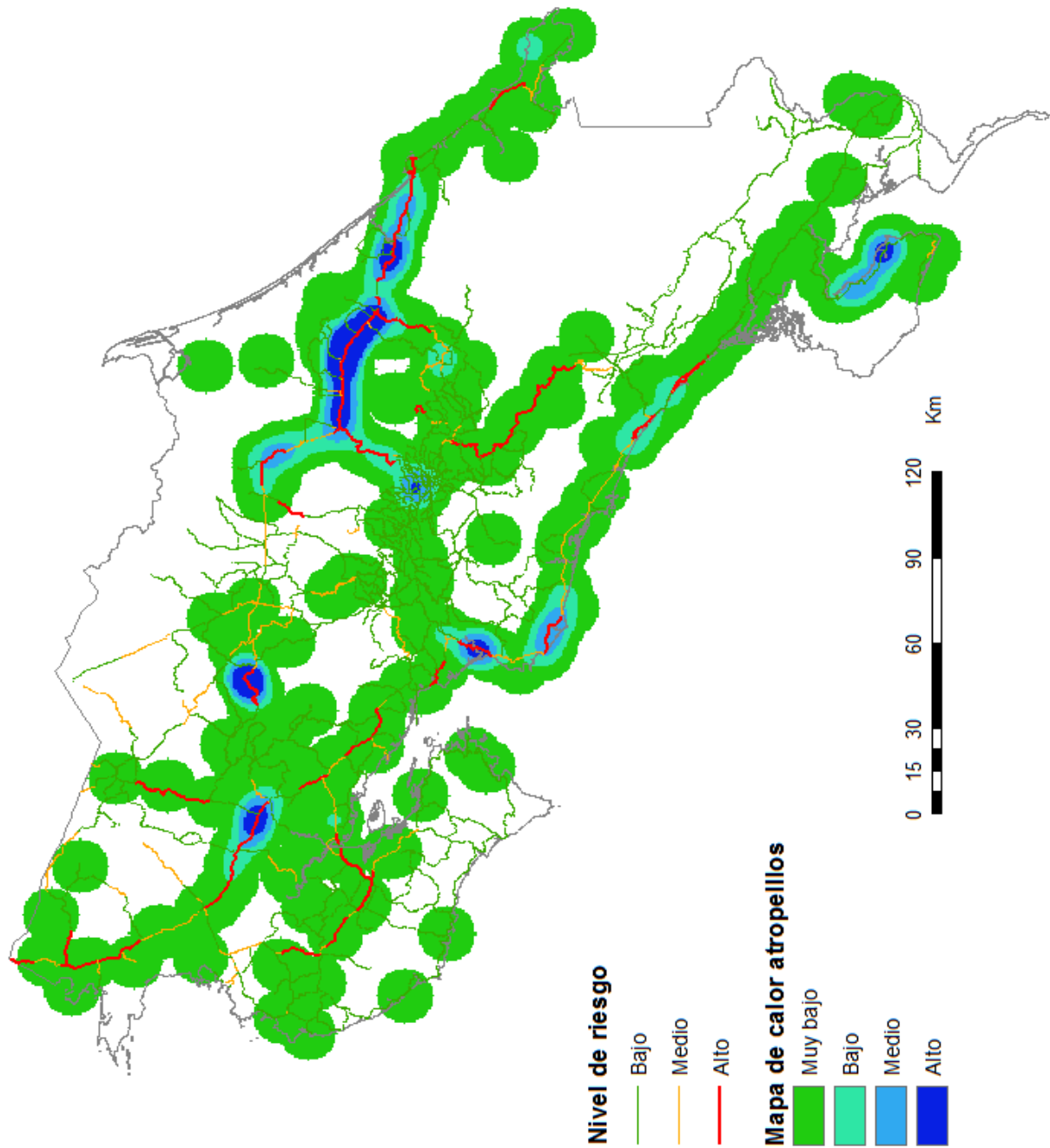


Figura 5. Mapa de calor de los registros de atropellos de fauna silvestre obtenidos por medio del aplicativo (Fauna en carreteras de Costa Rica), junto con el mapa de riesgo de las carreteras del país.

DISCUSIÓN

El método aquí propuesto es una manera práctica y una primera aproximación de clasificar las carreteras, que por sus características, pueden potencialmente impactar a la fauna silvestre a lo largo de las vías en Costa Rica. Sin embargo, sabemos que existen otras secciones de carretera que pueden generar alto atropellamiento, para ello se necesita tener información de la distribución de especies a nivel nacional en las principales vías del país, donde las especies puedan ser afectadas en y por las carreteras, lo cual puede servir para mejorar la clasificación, y así definir con mayor exactitud las prioridades de investigación y mitigación respecto al impacto de las vías sobre la fauna silvestre de determinadas carreteras del país.

Pese a que el registro permanente de especies impactadas por las carreteras es una propuesta muy costosa, debido a que el monitoreo requiere de personal y dinero para realizarlo, existen otros métodos menos costosos para tener resultados relativamente confiables. En Estados Unidos, Colombia y Brasil por ejemplo, existen varios proyectos de ciencia ciudadana (ver capítulo 2), los cuales usan una fuente de datos basados en mapas web que permiten que el registro de animales que cruzan o intentan cruzar en las carreteras, o que son atropellados por los mismos, puedan ser realizados por parte del ciudadano común, además de otros datos que sirven para ayudar a los manejadores de fauna y, así mejorar la gestión e inversión financiera que pueda ayudar a reducir las muertes de animales y fragmentación de hábitat (Lee et al. 2006).

Los resultados obtenidos por medio del índice propuesto, muestran un panorama adverso con respecto a la conectividad dentro y entre los principales centros de biodiversidad en Costa Rica. Se puede evidenciar la pérdida de conectividad en zonas críticas como en la región de Talamanca, con la Cordillera Volcánica Central, que por su posición estratégica sirven de rutas conectoras, principalmente para especies como el jaguar, las cuales tienen un rango de acción muy amplio (Salom-Pérez et al. 2010) y especies de vertebrados pequeños que pueden ver sus poblaciones más aisladas por las vías como es reportado en otros países (Clevenger et al. 2003). Cabe resaltar que las carreteras no solo afectan de forma física a la vida silvestre, si no que promueven por lo general la generación de más vías de acceso y asentamientos humanos, lo que generan una barrera aún mayor. Otra región afectada en el complejo de parques es Guanacaste, pues está en medio de uno de los proyectos más ambiciosos para el transporte terrestre,

que es la ruta interamericana. Sin embargo existen investigaciones puntuales en algunas de las áreas protegidas de Guanacaste (Saenz 2010).

Aunque son solo 23 secciones de carretera catalogadas con alta prioridad, la mayoría de carreteras evaluadas, principalmente primarias y secundarias superan los 2500 vehículos por día. De acuerdo al modelo propuesto por Gubbi et al. (2012), la mortalidad de fauna en este rango se espera que sea alto y el número de animales repelidos aumente. Lo anterior muestra como muchas carreteras que no son de alta prioridad (Color amarillo figura 3), pueden convertirse de un alto impacto en el futuro, pues teniendo en cuenta el plan de desarrollo para Costa Rica, muchas de las carreteras existentes aumentarían el volumen de tráfico, lo cual se convertiría en una de las principales barreras para la especies, generando probablemente que parte de esta fauna se extinga localmente (Clevenger y Huiser 2011).

Si bien muchos de los proyectos de mitigación de fauna afectada por carreteras ocurren mientras las carreteras están siendo mejoradas o ampliadas (doble calzada) o reparadas; muchas carreteras secundarias o con mediana prioridad como las identificadas en este estudio, pueden no ser objeto de este tipo de mejoras en un futuro cercano. Sin embargo, esta problemática causa un impacto considerable por la colisión de especies importantes o clave (Ford et al. 2011). Un ejemplo en Costa Rica es el Parque Nacional los Quetzales, para ser más preciso en carretera que atraviesa el Cerro de la Muerte, la cual es una vía que en un futuro cercano, no se le hará ninguna mejora o remodelación, pero en donde han ocurrido al menos 3 muertes de tapires (*Tapirus bairdii*) en un año (Soto 2015), para esta especie la pérdida de un individuo puede afectar sus poblaciones (Naranjo 1995). Es en estas carreteras, en donde encontrar una solución costo-beneficio para localizar y priorizar tramos de la vía para planes de mitigación se vuelve fundamental. Ford et al. (2011) presentaron varios criterios que podían ser usados para asistir y priorizar los sitios óptimos en donde ubicar barreras de diferentes longitudes, evaluando su efectividad, optimizando la reducción de atropellos versus beneficios económicos.

De las 23 secciones identificadas con alta prioridad, diez atraviesan varias áreas con alguna categoría de manejo, ya sean Parque Nacionales, Reservas Forestales, entre otros (Fig. 3). A pesar de esto, ninguna de estas áreas parece tener un estudio

sistemático implementado por la administración de cada área silvestre protegida, como la colecta periódica de datos, y así evaluar el impacto de estas carreteras sobre la fauna silvestre. Sin embargo, existen varios trabajos realizados en muchas de estas vías por parte de otras entidades como ONG's y universidades.

Para dar un ejemplo, de las 23 secciones registradas como de mayor prioridad, diez tienen uno o varios estudios enfocándose en el registro e identificación de especies impactadas, principalmente evaluando el atropellamiento de la fauna vertebrada (Cuadro 1). La mayoría de estudios se han enfocado más en el registro de atropellos, y el número de especies afectadas, identificando puntos con alta frecuencia de colisión y las especies más afectadas, determinando además las características de paisaje que favorecen la colisión con animales. (Arévalo 2013, Araya y Salóm-Pérez 2013, Artavia 2015). Empero, aunque el análisis de los sitios de alto atropellamiento, pueden ser usados como un indicador general de la asociación entre hábitat-atropellos, ellos no deberían ser usados como un solo indicador de los mejores sitios para realizar las medidas de mitigación (pasos de fauna). Modelos de simulación y de conectividad, que incluyan el movimiento animal y la distribución del hábitat, pueden ser usados para identificar los sitios más probables de cruces de animales, lo cual puede indicar un mejor sitio para efectuar dichas medidas (Lesbarrères y Fahrig 2012).

Estos estudios, son realizados principalmente como línea base para proponer en la mayoría de los casos sitios en donde situar las medidas de mitigación correspondientes. No obstante, y al ser estudios independientes de la administración de las carreteras o al ser ajenos a las agendas de desarrollo vial, quedan como estudios anecdóticos, que si bien, son muy informativos, tienen poco impacto en la toma de decisiones para realizar medidas de mitigación. Pullin et al. (2004) argumentan que, aunque existe buena evidencia para generar acciones con respecto al tema, y que de hecho incrementa el número de evidencia científica para desarrollar acciones apropiadas, en general las acciones de conservación, carecen de evaluación de fondo y todavía están basadas en anécdotas, experiencias personales, e interpretación de las prácticas tradicionales de los administradores y manejadores de tierras. Estos autores creen que no es que lo organismos de conservación, (en este caso áreas protegidas afectadas por las vías) no quieran usar la evidencia existente, si no que los tomadores de decisiones, no tienen el tiempo para acceder a ella, ni un marco de apoyo que proporcione la mejor calidad de información, en una forma que puedan absorber y utilizar fácilmente.

Contrario a esto, existen trabajos que si han estado ligados a la agenda del desarrollo vial, como los realizados para la Interamericana Norte que atraviesa los parques de Guanacaste, y Santa Rosa. En este sitio además de reportar el impacto y los sitios en donde deberían realizarse las medidas, realizaron una evaluación de la efectividad de algunas medidas propuestas como pasos de fauna (Sáenz 2010, Torres 2011). Asimismo, actualmente existe la comisión de vías y vida silvestre conformada por varias entidades gubernamentales, no gubernamentales y académicas, que pretenden generar un eje transversal para abordar esta problemática. Dentro de la comisión existen tres comités: científico, legal, y educativo, en donde han tenido logros importantes, como la elaboración de señalizaciones, talleres, identificación de problemáticas, como falta de un marco legal en la construcción de vías, entre otros (Menacho y Pomareda 2013, Menacho 2014).

A nivel mundial, existe una gran proporción de literatura enfocada en evaluar el uso y la efectividad de medidas de mitigación con el objetivo de restaurar la conectividad para la fauna silvestre, o reducir las tasas de atropello de fauna (van der Ree et al. 2011). Para Costa Rica, existen solo dos trabajos en literatura gris abordando este tema, principalmente porque la mayoría de las vías no posee aun medidas de mitigación, o si las hay, no existe una documentación adecuada con respecto al monitoreo de estas (Torres 2011, Villalobos 2013). Además, la baja calidad en la investigación de la efectividad de medidas de mitigación como los pasos de fauna es debido principalmente a que muchos de esos proyectos no son iniciados, incluso hasta después de que los pasos son construidos (Lesbarrères y Fahrig 2012).

Si bien el impacto de las vías se ha reportado en Costa Rica, desde los 90's (Monge-Nájera 1996) muy pocas secciones llevan un monitoreo constante con colecta de datos a lo largo del tiempo (García 2013), pues son estudios que se realizan de momento, ya que por falta de recursos, o porque son requisitos de investigación no son continuados. Este aspecto no permite identificar, por ejemplo, cambios en las poblaciones y especies afectadas a lo largo del tiempo.

Actualmente existen en Costa Rica varias iniciativas, y estudios con respecto a la evaluación del impacto de las carreteras sobre la vida silvestre (Menacho y Pomareda 2013), sin embargo, la mayoría de estudios se encuentran en literatura gris (Torres 2011, Arévalo-Huezo y Pomareda 2013, García 2013, Artavia 2015). Solo hay seis publicaciones para Costa Rica acerca del tema en una revista indexada (Monge-Nájera 1996, Gómez-Figueroa y Monge-Nájera 2000, Lobo-Gonzales *et al.* 2010, Rojas 2011, Artavia *et al.*

2015). El problema con la literatura gris es que presentan los datos crudos, sin mostrar los datos obtenidos de forma sistemática, con poca o nula publicidad, y circulación dentro de ámbitos limitados (Arce et al. 2012). Además, estos trabajos son publicados en conferencias donde solo se muestra el resumen, y la información no tienen la misma profundidad, que tienen al ser publicados en revistas científicas (Aguilar y Gamboa 2013, García 2013, Villalobos 2013), con el fin de que sean replicables, y sirvan de comparación para el mejoramiento de las mismas, y hacer una toma de decisiones más acertada respecto al tema.

CONCLUSIONES

Se evidencia como 600 km de vías nacionales pueden representar un alto riesgo impacto sobre la fauna silvestre, teniendo además algunas secciones como la interamericana en la altura del parque Santa Rosa y Guanacaste que tienen estudios realizados sobre esta problemática.

El 50% de los tramos de carreteras con posible alto impacto están en áreas protegidas, por consiguiente requieren con urgencia de estudios para valorar si existe o no dicho impacto y qué medidas tomar al respecto.

La mayoría de vías identificadas como prioritarias, e incluso las de mediana prioridad, superan el tráfico de 3000 vehículos diarios, algo preocupante, si se tiene en cuenta la proyección en el aumento de flujo vehicular en los próximos años, pues aumentaría el efecto barrera de la red vial hacia la fauna silvestre.

Siete de las 23 secciones encontradas como alta prioridad tienen obras en ejecución, que deberían tener estudios de mitigación para el atropellamiento de fauna silvestre. No obstante, solo cuatro se le conocen la evaluación de esta problemática, y solo dos han propuesto medidas de mitigación.

RECOMENDACIONES

El método aquí planteado puede ser replicable en otros países de la región con similares características para dar un primer bosquejo de la problemática y así alertar a las autoridades competentes acerca del impacto de las vías sobre la biodiversidad, siempre y cuando, los datos usados como los requeridos por los ministerios de transporte, y los datos cartográficos estén actualizados.

Incluir como variable los puntos calientes de atropellos de fauna silvestre en las carreteras, daría más robustez al índice, pues daría más exactitud en la identificación de vías con necesidad de investigación y acción por parte de las diferentes entidades y tomadores de decisiones.

Hacer el mapa dinámico en el tiempo, en donde se puedan ir actualizando los datos ayudaría a direccionar en tiempo real la actuación de los tomadores de decisiones sobre las secciones de carreteras que generan impacto sobre la fauna (atropellamiento).

LITERATURA CITADA

- Aguilar, C., y M. Gamboa. 2013. Identificación de pasos de fauna en la ruta 4, tramo Bajos de Chilamate-Vuelta Kooper, en Sarapiquí. Page 22 in. I Simposio Ecología de Caminos. Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- Altés, C. 2006. El Turismo en América Latina y el Caribe y la experiencia del BID, Inter-American Development Bank; Sustainable Development Department, ENV-149. Washington, D.C.
- Ament, R, Clevenger A.P, Yu O, y Hardy A. 2008. An assessment of road impacts on wildlife populations in U.S. national parks. *Environmental Management*. 42(3):480-96.
- Araya, D., y R. Salom-Perez. 2013. Método para la identificación de pasos de fauna sobre la Ruta 415, dentro del Subcorredor Biológico Barbilla-Destierro “Paso del Jaguar”, Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- Arce, E., A. Arévalos, y W. Honda. 2012. Mortalidad de vertebrados en el límite sur oeste del Parque Nacional Carara, Costa Rica. *Mesoamericana* 16:116.
- Arévalo-Huezo, E., y E. Pomareda. 2013. El impacto de la carretera interamericana norte sector Cañas-Liberia en la mortalidad de fauna silvestre antes y durante la ampliación a cuatro carriles. Resultados preliminares. Guanacaste, Costa Rica. Page 8 in. I Simposio Ecología de Caminos. Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- Artavia, A., M. Jiménez, A. Martínez Salinas, E. Pomareda, D. Araya Gamboa, y E. Arévalo Huezo. 2015. Registro de mamíferos silvestres en la sección de la ampliación de la Ruta 32, Limón, Costa Rica. *Brenesia* 83–84:37–46.
- Artavia, R. 2015. Identificación y caracterización de cruces de fauna silvestre en la sección de la ampliación de la carretera nacional Ruta 32, Limón, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Banco Mundial 2015. World Development Indicators.

<http://blogs.worldbank.org/opendata/release-world-development-indicators015>

Barthelme, E. L. 2014. Spatial distribution of road-kills and factors influencing road mortality for mammals in Northern New York State. *Biodiversity and Conservation* 23:2491–2514.

Beckmann, J. P., J. Beckman, A. Clevenger, M. Huijser, y J. Hilty. 2010. *Safe passages : highways, wildlife, and habitat connectivity*. Island Press, Washington.

Brandenburg, D. 1996. *Effects of roads on behavior and survival of black bears in coastal North Carolina*. University of Tennessee.

Carvajal, V. y F. Díaz. 2014. Mamíferos silvestres atropellados en rutas del Canton de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, y posibles estrategias de mitigación. *Brenesia*. 81-82: 52-57.

Clevenger, A., B. Chruszcz, K.E. Gunson. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*. 109. 15–26

Clevenger, A., y M. Huijser. 2011. *Wildlife crossing structure handbook, Design and evaluation in North America*. Technical report No. FHWA-CFL/TD-11-003.

Clevenger, A. P., y A. T. Ford. 2010. *Wildlife Crossing Structures, Fencing, and Other Highway Design Considerations*. Page 396 in P. J. Beckmann, A. P. Clevenger, M. Huijser, y J. A. Hilty, editors. *safe passages highways wildlife and habitat connectivity*. Island Press, Washington D.C.

Council, N. R. 2005. *Assessing and managing the ecological impacts of paved roads*. National Academy Press, Washington D.C.

de Freitas, C. H., C. S. Justino, y E. Z. F. Setz. 2015. Road-kills of the giant anteater in south-eastern Brazil: 10 years monitoring spatial and temporal determinants. *Wildlife Research* 41:673–680.

Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois, y J.-P. Ouellet. 2006. Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec, Canada. *Wildlife Biology* 12:415–425. Nordic Board for Wildlife Research. <[http://dx.doi.org/10.2981/0909-6396\(2006\)12\[415:TASDOM\]2.0.CO](http://dx.doi.org/10.2981/0909-6396(2006)12[415:TASDOM]2.0.CO)>.

- Ford, A. T., A. P. Clevenger, M. P. Huijser, y A. Dibb. 2011. Planning and prioritization strategies for phased highway mitigation using wildlife-vehicle collision data. *Wildlife Biology* 17:253–265. <<http://www.bioone.org/doi/pdf/10.2981/09-051>>.
- Forman, R. T., D. Sperling, J. A. Bissonette, A. P. Clevenger, D. C. Cutshall, V. H. Dale, L. Fahri, R. France, C. R. Goldman, K. Heanue, J. A. Jones, F. J. Swanson, T. Turrentine, y T. C. Winter. 2003. *Road ecology: science and solutions*. Island Press, Washington D.C.
- Forman, R. T. T. 2000. Estimate of the Area Affected Ecologically by the Road System in the United States. *Conservation Biology* 14:31–35.
- Forman, R. T. T., y L. E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29:207–231. Annual Reviews. <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>>.
- García, S. 2013. Programa de protección a animales en la costanera sur, un programa participativo. Page 9 in UNED, editor. *I Simposio Ecología de Caminos. Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica*. San Jose, Costa Rica.
- Gómez-Figueroa, P., y J. Monge-Nájera. 2000. Fauna silvestre víctima de las carreteras: El caso de Costa Rica. *Repertorio Científico* 6:47–50.
- Goosem, M. 2002. Effects of tropical rainforest roads on small mammals: fragmentation, edge effects and traffic disturbance. *Wildlife Research* 29:277–289.
- Gubbi, S., H. C. Poornesha, y M. D. Madhusudan. 2012. Impact of vehicular traffic on the use of highway edges by large mammals in a South Indian wildlife reserve. *Current Science (Bangalore)* 102:1047–1051.
- Hammel, B. E., M. H. Grayum, C. Herrera, y N. Zamora. 2004. *Manual de Plantas de Costa Rica*. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, Missouri.
- Huseby, O. 2013. Spatio-temporal variation in moose-vehicle collisions : the effect of varying traffic intensity and light conditions Oddmund Huseby.
- Instituto Meteorológico Nacional, (IMN). 2007. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Reg_climaCR.pdf>. Accessed 5 Feb 2015.

- ITCR, (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2004. Atlas digital de Costa Rica. (CD-ROM). Cartago, CR.
- Kobler, A., y M. Adamic. 1999. Brown bears in Slovenia: identifying locations for construction of wildlife bridges across highways. Pages 29–38 in G. L. Evink, P. Garrett, y D. Zeigler, editors. Proceedings of the third international conference on wildlife ecology and transportation. Florida Department of Transportation, Tallahassee, Florida.
- Kofron, C., y A. Chapman. 2006. Causes of mortality to the endangered Southern Cassowary *Casuarius casuarius johnsonii* in Queensland, Australia. *Pacific Conservation Biology* 12:175–179. <<http://dx.doi.org/10.1071/PC060175>>.
- Lee, T., M. S. Quinn, y D. Duke. 2006. Citizen, Science, Highways, and Wildlife: Using a Web-based GIS to Engage Citizens in Collecting Wildlife Information. *Ecology and Society* 11:11.
- Lesbarrères, D., y L. Fahrig. 2012. Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? *Trends in ecology & evolution* 27:374–80. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534712000341>>. Accessed 25 Sep 2014.
- Lobo-Gonzales, H., T. Langen, J. Saenz, y M. Spinola. 2010. Mortalidad de herpetofauna por atropello en la Carretera Interamericana Norte, Área de conservación Guanacaste, Costa Rica. *mesoamericana* 14:36.
- Malo, J. E., F. Suárez, y A. Díez. 2004. Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology* 41:701–710.
- Menacho, R. M. 2014. Comisión Vías y Vida Silvestre: Retos y Logros. <<http://es.slideshare.net/roseamena/ponencia-vias-y-vida-silvestre-logros-y-retos>>. Accessed 20 Feb 2015.
- Menacho, R. M., y E. Pomareda. 2013. MEMORIA I SIMPOSIO ECOLOGÍA DE CAMINOS Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica. UNED, Sabanilla de Montes de Oca.

- Michalak, J., y J. Lerner. 2007. Linking Conservation y Land Use Planning: using the state wildlife action plans to protect wildlife from urbanization. Defenders of Wildlife, Washington DC.
- Monge-Nájera, J. 1996. Vertebrate mortality on tropical highways: the Costa Rican case. *Vida Silvestre*. *Vida Silvestre Neotropical* 5.
- Monge, F., J. Víquez, y M. Alvarado. 2013. Análisis de mortalidad de aves y mamíferos en la carretera, interamericana sur, limítrofe con el Parque Nacional los Quetzales. Página 21 en. I Simposio Ecología de Caminos. Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- MOPT, M. de O. P. y T. 2011. Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. Costa Rica.
- Morelle, K., F. Lehaire, y P. Lejeune. 2013. Spatio-temporal patterns of wildlife-vehicle collisions in a region with a high-density road network. *Nature Conservation* 5:53–73.
- Naranjo, E. 1995. Abundancia y uso de hábitat del Tapir (*Tapirus bairdii*) en un bosque tropical húmedo de Costa Rica. *Vida Silvestre Neotropical* 4:20–31.
- Niemi, M., J. Matala, M. Melin, V. Eronen, y H. Jarvenpaa. 2015. Traffic mortality of four ungulate species in southern Finland. *Nature Conservation-Bulgaria* 28:13–28.
- Primack, R. 2014. *Essentials of conservation biology*. Sixth edition. Sinaeur, Boston.
- Pullin, A. S., T. M. Knight, D. A. Stone, y K. Charman. 2004. Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation* 119:245–252.
- Rojas, E. 2011. Atropello de vertebrados en una carretera secundaria en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED* 3:81–84.
- Saenz, J. 2010. Use of below-grade passage structures underneath the Pan-American highway by wildlife in the Guanacaste Conservation Area. San Jose.

- Saenz, J. 2012. Mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento en la carretera interamericana Area Conservacion Guanacaste y determinacion pasos de fauna. <<http://es.slideshare.net/roseamena/2-joel-saenz-acg>>. Accessed 5 Aug 2014.
- Salom-Pérez, R., J. Polisar, H. Quigley, y K. Zeller. 2010. Iniciativa del Corredor del Jaguar: un Corredor Biológico y un Compromiso a Largo Plazo para la Conservación. *Mesoamericana* 14:25–34.
- Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42:371–382
- SINAC, M. de A. E. y T.-S. N. de Á. de C. 2008. Programa Nacional de Corredores Biológicos de Costa Rica. <<http://www.sinac.go.cr/corredoresbiologicos/home.html>>. Accessed 10 Feb 2015.
- Soto, M. 2015. Dantas peligran en tramo de ruta del cerro de la Muerte. *La Nacion*. <http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Dantas-peligran-carretera-cerro-Muerte_0_1484851501.html>.
- Spellerberg, I. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography* 7:317–333. Blackwell Science Ltd.
- Torres, M. L. 2011. Funcionalidad de 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 (CATIE).
- van der Ree, R. J., A. G. Jaeger, E. A. van der Grift, y A. P. Clevenger. 2011. Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. *Ecology and Society* 16:48.
- Villalobos, R. 2013. Monitoreo de uso y efectividad de pasos de fauna, refugio nacional de vida silvestre Barú Página 12 en. I Simposio Ecología de Caminos. Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- White, P., J. Michalak, y J. Lerner. 2007. Linking Conservation and Transportation: Using the State Wildlife Action Plans to Protect Wildlife from Road Impacts. Washington D.C.

CAPÍTULO 2

CIENCIA CIUDADANA COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR ESPECIES AFECTADAS POR CARRETERAS EN COSTA RICA.

Diego Rolando Gutiérrez Sanabria

2017

RESUMEN

Las carreteras y otras infraestructuras lineales, son la mayor causa de fragmentación y pérdida de hábitat, ejerciendo efectos negativos sobre la biodiversidad. Sin embargo, la obtención de datos, principalmente a escalas regionales es un reto debido a su elevado costo e inversión de tiempo y dinero, lo que hace que este proceso sea poco viable. En la actualidad la ciencia ciudadana se ha convertido en una herramienta alternativa para estudios ecológicos dirigidos a la conservación de la biodiversidad. Aquí se plantea un proyecto que utiliza una aplicación web de ciencia ciudadana, denominado Fauna Silvestre en carreteras de Costa Rica, el cual emplea una plataforma web abierta (<https://www.inaturalist.org/projects/fauna-silvestre-en-carreteras-de-costa-rica>), para facilitar la colección y análisis de datos, identificando que especies y grupos taxonómicos son los más registrados, y cuál es el alcance de esta herramienta para estudios de ecología de carreteras. Desde que fue creado el proyecto en octubre de 2013, se han inscrito 116 personas, con la participación de tan solo el 20 % de ellos. El grupo taxonómico con mayor número de reportes fue el de los mamíferos (261 individuos, con 40 especies) siendo *Didelphis marsupialis* (54), y *Tamandua mexicana* (66) las especies con mayor número de reportes. El 62% de los datos reportados tuvieron un grado de calidad de investigación. La baja participación por parte de la mayoría de los miembros, puede ser porque consideran que la aplicación tiene cierta complejidad, a que no es muy visible en las redes, o que la divulgación de la misma no fue periódica. La ciencia ciudadana aparte de ser un método para la colecta masiva de datos, sirve como un elemento educativo, razón que la convierte en una herramienta eficaz para educar y evaluar el impacto de las carreteras sobre la fauna silvestre.

Palabras claves: Ecología de carreteras, biodiversidad, ciencia ciudadana; fauna atropellada, mamíferos, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Los humanos son responsables de la actual pérdida de biodiversidad acelerada, por medio del cambio de uso del suelo, la polución, y la pérdida, fragmentación y degradación de hábitat (Vitousek et al. 1997). Las carreteras y otras infraestructuras lineales son las que causan la mayoría de estos fenómenos, siendo los más conspicuos y espacialmente extensiva huella humana en la tierra (Forman et al. 2003). La infraestructura vial es importante para la sociedad ya que proporciona conectividad para las personas, transporta bienes y servicios entre ciudades y países. Sin embargo, la infraestructura vial también produce efectos negativos significativos en hábitats adyacentes en las poblaciones de vida silvestre, las comunidades y los ecosistemas (van der Ree et al. 2011).

El flujo horizontal de organismos y procesos naturales a través de las carreteras, resulta en una consecuencia negativa, tanto para los humanos, como para los sistemas naturales, principalmente en países de latitudes norteñas, debido a que las especies que habitan en ellos son de un tamaño considerable, y pueden causar muertes de fauna silvestre y muchas pérdidas económicas (Lee et al. 2006). Sin embargo, en países tropicales como Costa Rica, el impacto parece unidireccional, ya que al ser especies de menor tamaño, no provocan accidentes fatales, o si los provocan son muy escasos, y por consiguiente, no recibe la atención necesaria por parte del gobierno o agencias de seguros para disminuir las colisiones, cosa que si sucede en países como Suecia, en donde incluso existen medidas legales respecto al tema (Seiler 2005). Además de la colisión vehículo-fauna silvestre, las carreteras ocasionan, efecto barrera, pérdida y fragmentación de hábitat, pérdida de flujo genético, y cambios en la dinámica meta-poblacional entre otros (Spellerberg 1998, Sherwood et al. 2002, Forman et al. 2003).

Recientemente este problema ha empezado a llamar la atención de manejadores de fauna silvestre a nivel de Latinoamérica. Esto ha permitido que se comiencen a aplicar medidas de mitigación a lo largo de las carreteras para solucionar este impacto negativo. Precisamente, el diseño y las características de las carreteras, deberían ser el primer enfoque para minimizar las colisiones (Forman et al. 2003). La efectividad, tanto del diseño, como de las medidas de mitigación, se basa en la forma adecuada de comprender la conducta de las especies animales afectadas. En particular, el mejoramiento de las

carreteras y la ubicación de las medidas de mitigación, deberían reducir el conflicto vías-fauna silvestre cuando la información de la conectividad natural es conocida, modelada y considerada dentro del diseño (Foster y Humphrey 1995, Clevenger y Waltho 2000).

Obtener esta información requiere de investigación y monitoreo de los movimientos de la fauna silvestre, a lo largo de ciertos periodos de tiempo, identificando patrones significativos de las especies. Sin embargo, hacer un trabajo a largo plazo, a gran escala, y de forma constante, requiere una gran cantidad de datos recolectados, además de un gasto elevado de recursos que muchas veces no están disponibles. Una manera de obtener esos datos es a través de ciencia ciudadana (Vercayie y Herremans 2015).

La participación voluntaria de los ciudadanos en estudios ecológicos se ha convertido en un pilar de la investigación dirigida a la conservación de la biodiversidad. Aunque las observaciones de naturalistas amateurs son antiguas, los proyectos de ciencia ciudadana han proliferado recientemente y ha permitido registrar impactos ecológicos y sociales en los ambientes naturales a gran escala, a través de la tecnología y el internet (Lepczyk et al. 2009). El modelo de ciencia ciudadana tiene actualmente gran influencia en el campo de la ecología, incluyendo el monitoreo de la biodiversidad, permitiéndole a los ecólogos moverse de escalas locales, a escala de rangos de distribución de especies y ecosistemas, lo cual ha hecho un sustancial aporte a la macro-ecología, explorando la variación en dinámicas de colonización y extinción y, requerimientos de nicho, a través de rangos de distribución de especies (Brown 1995). Además, permite a los ecólogos del paisaje estudiar el cambio de uso de suelo en grandes escalas espaciales, donde procesos importantes en escalas locales no pueden ser detectados (Dickinson et al. 2010).

Sofisticadas aplicaciones de internet usan de forma efectiva la gran capacidad de almacenamiento para coleccionar datos de grandes regiones geográficas, ofreciendo la oportunidad a los participantes de acceder, compartir y dar un sentido a sus datos coleccionados. Con el desarrollo de nuevas tecnologías de teléfonos inteligentes, se está incrementando de forma vertiginosa el potencial para la validación inmediata de las observaciones y la transmisión de datos, así como también, combinar los datos de sensores electrónicos con observaciones humanas (Abecker et al. 2012). Aunque la mayoría de proyectos de ciencia ciudadana se han realizado principalmente en

investigaciones ornitológicas, por la facilidad de conformar grupos de observadores de aves, recientemente se ha extendido a muchos más taxas, incluyendo plantas, hongos, anfibios, mamíferos, reptiles, entre otros; hasta datos ambientales y de hábitat (Dickinson et al. 2010).

En Costa Rica la situación de fauna atropellada está tomando importancia en diferentes estudios y bajo diferentes enfoques. Sin embargo, aún es escaso el conocimiento con respecto al tema, precisamente porque los datos de fauna afectada son aún insuficientes. En este sentido, la creación de una plataforma web para el registro continuo de fauna en carreteras puede resultar una forma efectiva, y económica. El objetivo de esta parte del estudio fue desarrollar una propuesta de ciencia ciudadana titulado “Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica”, el cual emplea una plataforma web abierta, para facilitar la colección, análisis y comunicación de información relacionada con el movimiento de la fauna silvestre a través de las carreteras de Costa Rica, identificando que especies son las más reportadas y enfocada en las especies de mamíferos para este estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

Costa Rica está ubicada en la parte sur de Centroamérica dentro de la zona conocida como Neotrópico, entre las coordenadas 8°30' y 11°15' Latitud Norte y Longitud Oeste entre 82°30' y 86°00' (ITCR 2004). La superficie total de Costa Rica es de 5.110.000 hectáreas (ha) (51.100km²), de las cuales 5.106.000 corresponden a superficie terrestre (ITCR 2004). Actualmente se puede estimar que Costa Rica tiene una red vial de 40.000 kilómetros, con cerca de 10.000 kilómetros pavimentados y 30.000 Kilómetros en Lastre (MOPT 2011).

El país se caracteriza por presentar gran variación climática incluso en distancias cortas. Las temperaturas promedio máximas mensuales a nivel del mar son 29.9 °C en el lado Caribe y 32.6 °C en el lado pacífico, mientras que la temperatura promedio máxima mensual en el Cerro Chirripó, el pico más alto del país, es de 7.2 °C (Hammel et al. 2004). Existen, además, frentes fríos que traen aire seco y frío del Norte del continente y que es otra variación que se debe a la interacción que presentan los diferentes sistemas de viento que afectan al país y la topografía variada. Estos vientos arrastran humedad desde su paso por el Golfo de México, la cual es depositada en las montañas, produciendo para el caso de Costa Rica, los temporales de la vertiente caribeña y fuertes vientos en el norte de la vertiente pacífica (Instituto Meteorológico Nacional 2007).

Dos sistemas montañosos principales corren longitudinalmente sobre la parte central del país: la Cordillera Volcánica del Norte (Guanacaste y Volcánica Central) y la Cordillera de Talamanca al sur. Estos sistemas montañosos determinan la división del país en tres regiones fisiográficas: norte, central y sur (IMN 2007). Esta misma disposición montañosa, junto con los vientos alisios predominantes del noreste, han enmarcado también tres regiones climáticas diferentes: la Región Tropical Húmeda del Atlántico, a la cual pertenece la Región Norte y Atlántica, la Región Central Intermontana donde se encuentra la Región Valle Intermontano Central y Montañosa Sur, y la Región Tropical del Pacífico, a la cual pertenecen la Regiones Pacífico Norte, Sur y Central, con dos estaciones bien definidas, la húmeda y seca (IMN 2007).

METODOLOGÍA

El diseño web es una actividad que consiste en la planificación, diseño, implementación y mantenimiento de sitios web. No obstante, este proyecto se enfocó en la arquitectura de la información, usabilidad, y la experiencia del usuario, usando el diseño gráfico, diseño de interfaz y la estructura del sitio ya existente en la plataforma web de Inaturalist, por consiguiente, se desarrolló la aplicación del proyecto dentro de una plataforma de acceso libre, bajo el enfoque de ciencia ciudadana. Esta aplicación permitió registrar fauna atropellada o que cruzan las carreteras de Costa Rica, subirla a la plataforma del proyecto, gestionar los datos, analizar y publicar resultados.

Inaturalist nació como un proyecto final de maestría de Nate Agrin, Jessica Kline y Ken-ichi Ueda en la Universidad de Berkeley's en 2008, y es una plataforma que permite el registro de varios ítems como la georreferencia, el nombre de animal, el estado en que se encontró (vivo/muerto), la fecha, hora, entre muchos otros aspectos que dependiendo del proyecto y la profundidad a la que se quiere llegar se pueden habilitar las diferentes opciones.

Creación del proyecto “Fauna silvestre en carreteras de Costa Rica” para el registro de datos de fauna atropellada (FSCC)

Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica (FSCC) (<http://www.inaturalist.org/projects/fauna-silvestre-en-carreteras-de-costa-rica>) nació como una herramienta alternativa para el registro de fauna atropellada, o fauna que intenta cruzar la carretera en las vías de Costa Rica, con el fin de registrar información de animales en relación con las carreteras. Esta información servirá para entender las interacciones animal-carretera, y cómo podríamos reducir estos impactos, lo que ayudaría al mejoramiento, manejo y conservación por parte de entidades gubernamentales y ONG's para reducir los atropellamientos y la fragmentación del hábitat circundante a largo plazo.

Esta plataforma tiene como objetivo permitir el registro de especies por parte del público en general, sin necesidad de ser científico, ni trabajar para una entidad gubernamental o académica, por medio de una aplicación para un Smartphone. Dentro de

la plataforma de Inaturalist se creó un proyecto hacia donde el usuario quiere que se direccionen los datos de un tema en específico. Es así, que para el registro de fauna atropellada en Costa Rica, se creó el proyecto con el nombre “Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica” (<http://www.inaturalist.org/projects/fauna-silvestre-en-carreteras-de-costa-rica>), (Figura 7).

Componentes del aplicativo en la página web del proyecto

Título: “Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica” el cual permite diferenciar el proyecto y tomar datos con el objetivo propuesto.

Icono: Se implementó un icono que le diera identidad al proyecto alusivo al objetivo del mismo y fuera útil en la estrategia publicitaria del proyecto (Figura 6).



Figura 6. Icono creado para identificar el proyecto en redes sociales y en la web

Descripción del proyecto en la plataforma de inaturalist: Fauna silvestre en Carreteras de Costa Rica es un proyecto web basado en mapas y bases de datos, diseñado para registrar sus observaciones de fauna atropellada en las carreteras del sistema vial de Costa Rica.

Objetivo del proyecto en la plataforma de inaturalist: generar una colecta, sistematización y difusión de datos de fauna silvestre atropellada en carreteras de Costa Rica, que sirva para el planeamiento y gestión de carreteras.

Restricciones de uso: El proyecto se restringió a que solo sea editable por el administrador. La entrada de datos al proyecto se puede realizar por cualquier persona

pero los datos son validados solo por curadores o especialistas invitados. Con respecto al modelo de membresía, se dejó la opción de que cualquier persona pueda registrarse y crear un usuario y no hacerlo solo por invitación con el objetivo de que hay una mayor participación.

Uso de datos: El uso de los datos está restringido al administrador del proyecto. Sin embargo, se pueden solicitar para proyectos específicos llevados a cabo dentro de las áreas de conservación por cualquier entidad.

Ubicación: se realizó la delimitación del proyecto al área continental de Costa Rica, con el fin de enfocar los esfuerzos de colecta para el país.

Campos de observación: Los campos requeridos para que una observación sea válida se elaboraron de acuerdo a la facilidad de registro y la relevancia para el proyecto, en donde se buscó que fueran datos importantes, pero que no fueran más de 7 campos. Estos campos se habilitaron con el objetivo de obtener información básica de la fauna avistada en carreteras, sin ser demasiado tediosos a la hora de registrar el dato, pero con la suficiente información para poder hacer los análisis y que tengan la calidad suficiente para que puedan ser usados en tomas de decisiones. La herramienta de mapeo online facilita la colección de observaciones locales en un formato útil. Una vez que las observaciones entran al sitio web, la información queda disponible para ser desplegada en mapas, o convertida en tablas para análisis de datos. Existe una aplicación para Android y IOS, que permite el uso de los Smartphone en tiempo real para el registro de todos los datos incluyendo las coordenadas (Figura 7).

En la captura de la derecha se observa:

1. El icono de la cámara, para tomar foto al ejemplar, o rastro.
2. Nombre de la especie, el cual tiene un buscador para ayudar a identificarla
3. La fecha, la cual la registra la aplicación por defecto
4. Las coordenadas, que dependiendo el sitio donde se hace el registro, tienen una buena exactitud.
5. Una descripción breve, donde se pide que coloquen una descripción del sitio, identificando bosque, cultivos, o zonas urbanas, y si la vía es recta o no.

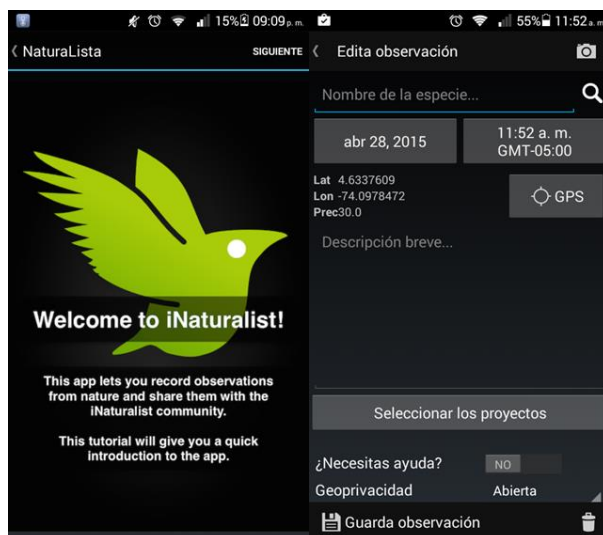


Figura 7. Captura de pantalla de la aplicación de inaturalist para Android, en donde se observa los datos que se toman por defecto a la hora añadir un registro.

Tutorial de uso: se creó un tutorial acerca de cómo deben ser ingresados los datos de atropellos al aplicativo de la plataforma Inaturalist, señalando los campos más relevantes y su importancia en el registro (<https://www.inaturalist.org/>). (Figura 8).



Figura 8. Tutorial para el ingreso de registros de fauna en carreteras.

Divulgación del proyecto: Como parte de la divulgación del proyecto, para tener mayor acogida por parte del público, y como consecuencia mayor participación, se realizó divulgación del mismo en diferentes medios como: medios televisivos (canal Teletica), redes sociales (Facebook) y periódicos nacionales (La Nación) (Figura 9). Solo publicando de forma periódica mas no masivamente por las redes sociales, como ocurre en otros

proyectos como en el sistema URUBU de Brasil, en donde incluso tienen su propio equipo de divulgación.



Figura 9. Divulgación del proyecto por uno de los medios de mayor cobertura en Costa Rica.

Estructura del proyecto Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica.

Luego de que el proyecto fue creado y se habilitó la aplicación web para ser usado por medio del aplicativo para Smartphone se llevó a cabo la prueba de su uso por medio de la colecta, gestión y difusión de los datos. Para la colecta no se requiere que el usuario tenga conocimiento de identificación pues en el proyecto se pueden corroborar y validar las observaciones por medio de curación de datos. Al encontrar el animal atropellado la persona abre la aplicación y toma un registro fotográfico, subiendo el dato cuando tenga internet, o por medio de la página web, además existe una tercera opción para subir bases de datos corregidas de varios registros a la vez (Figura 10). Luego, en la sección de gestión de datos, se revisa la precisión de las coordenadas, la fotografía, la fecha y se realiza una validación por al menos dos miembros del proyecto de los que fungen como curadores para confirmar la especie, dando hace una calificación de la calidad de los datos, e donde existen dos opciones: grado casual, o grado de investigación.

Por último, en la fase de difusión se muestran las estadísticas básicas y un mapa interactivo donde se pueden visualizar las observaciones con su grado de calidad en google maps (Figura 10).

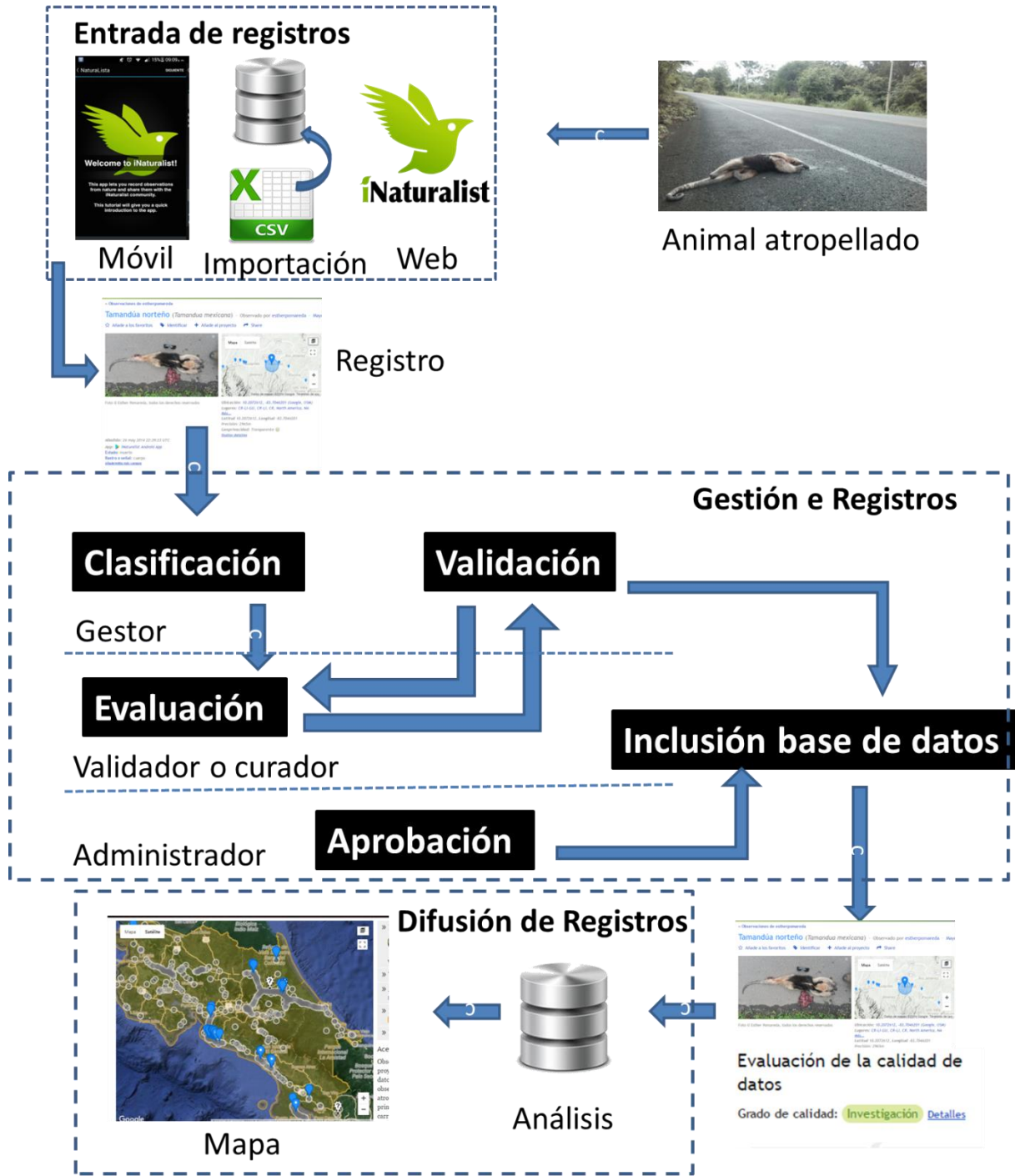


Figura 10. Estructura del proyecto Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica.

RESULTADOS

Actualmente, el proyecto FSCC dentro de la plataforma Inaturalist sigue activo. No obstante, la descripción y análisis del proyecto, y la gestión de datos para el presente estudio se realizó desde el 2013 hasta el 12 de junio de 2015.

Luego de desarrollar todo el proyecto con los campos seleccionados y las restricciones de uso especificadas, el proyecto quedó con la siguiente interfaz mostrando las estadísticas básicas en la página de inicio (figura 11). Una vez ingresados los datos, los participantes pueden entrar al proyecto y revisar las observaciones, acceder a los tutoriales para usar la herramienta de mapa interactivo y ver los resultados acumulados del proyecto (Figura 11), observando sus contribuciones personales a lo largo del tiempo y las de otros participantes.

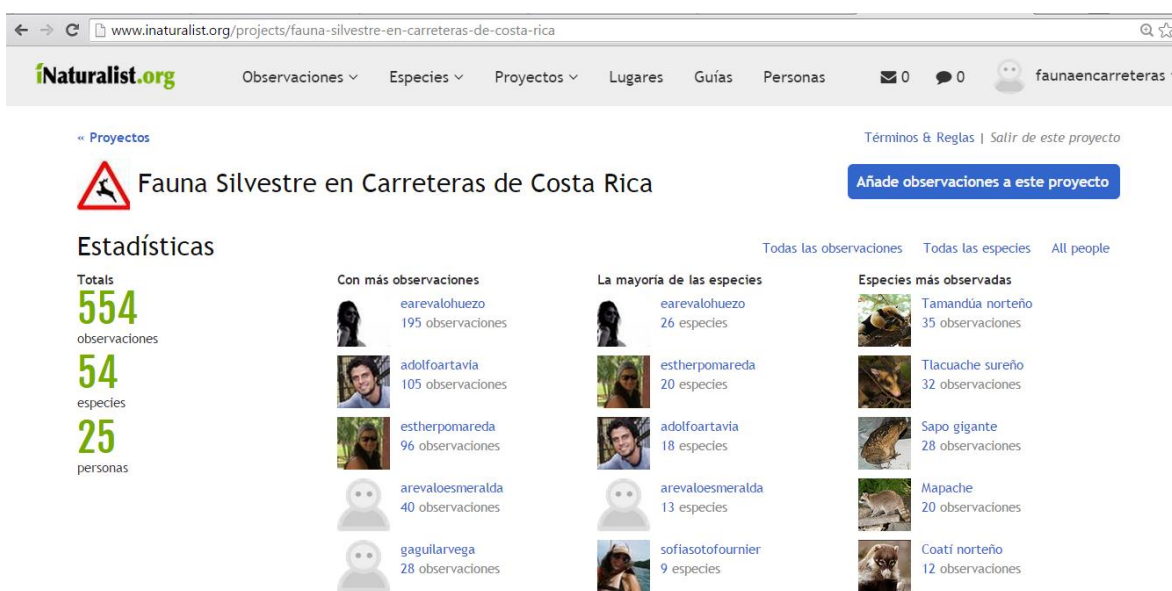


Figura 11. Página web de la plataforma, en donde se muestran las estadísticas y los participantes en tiempo real.

En la interfaz donde se añaden los datos quedaron los campos obligatorios mencionados anteriormente para que el registro sea validado y registrado con éxito (figura 12).

The screenshot shows the iNaturalist.org interface for adding a fauna observation. The page title is "Añade una observación a Fauna Silvestre en Car...". The species is "Fauna". The form includes fields for "¿Qué viste?" (What did you see?), "¿En cautiverio o cultivada?" (In captivity or cultivated?), "¿Cuándo lo viste?" (When did you see it?), and "¿Dónde estabas?" (Where were you?). The "¿Dónde estabas?" section includes a map of Central America with Costa Rica highlighted, and fields for "Lugar donde se realizó la observación", "Latitud", "Longitud", "Precisión (metros)", and "Fuente". There are also options to "Añade contenido digital" (Add digital content) and "Selecciona una o mas fotos" (Select one or more photos).

Figura 12. Formato de registro de fauna del Proyecto FSCC

El proyecto *Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica* fue lanzado oficialmente el 31 de octubre de 2013. Hasta junio 12 de 2015 se habían inscrito 116 miembros, los cuales han contribuido con 600 registros de fauna. Sin embargo, de las 116 personas inscritas, tan solo el 19% han participado de la iniciativa con al menos un registro. Alrededor de 13 personas han contribuido con más de un reporte, y siete personas han contribuido con el 94% de los reportes realizados. De acuerdo a las estadísticas de uso de la plataforma de iNaturalist, en promedio, hubo 6 miembros nuevos cada mes, desde que fue creado el proyecto, con un pico de inscritos nuevos en agosto de 2014 de 47 personas. Asimismo, se registraron en promedio 26 reportes de fauna en carretera por mes, realizados principalmente por un promedio de 3 personas, con una participación máxima de 6 personas en mayo de 2014 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticas del proyecto de fauna en carreteras de Costa Rica, en la plataforma Inaturalist.

Año/mes	Nuevos miembros	Nuevas observaciones	Observadores únicos
2015-06	1	28	3
2015-05	1	15	6
2015-04	1	0	0
2015-03	1	32	4
2015-02	0	29	2
2015-01	0	6	2
2014-12	2	21	5
2014-11	5	14	2
2014-10	4	9	3
2014-09	17	41	9
2014-08	41	31	6
2014-07	7	10	5
2014-06	0	9	4
2014-05	14	132	6
2014-04	15	130	4
2014-03	1	6	2
2014-02	1	0	0
2014-01	0	4	1
2013-12	3	36	1
2013-11	1	0	0
2013-10	1	1	1

Del total de registros ingresados a la base de datos, el 88% fueron registrados con fotografía incluida, teniendo a los mamíferos como la clase que más fotografías registro (180) seguido de los anfibios (133), reptiles (75) aves (42), y crustáceos con 8 registros con fotografía incluida. En ese orden, el grupo con mayor cantidad de registros fueron los mamíferos (261) seguido de los anfibios (135) y reptiles (86) (Figura 13).

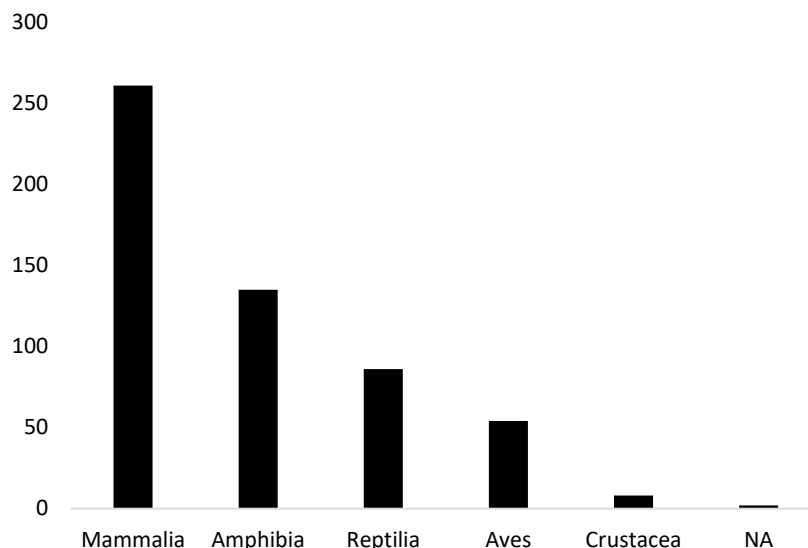


Figura 13. Número de registros de fauna registrada en carreteras mostrada por grupos taxonómicos.

Del total de reportes de fauna en el proyecto, la mayoría fue fauna atropellada (94 %) con tan solo 30 reportes de fauna vivos, principalmente mamíferos cruzando las carreteras. En cuanto al número de especies reportadas, se registraron un total de 40 especies de mamíferos aproximadamente, pertenecientes a 39 géneros, 20 familias y 10 ordenes. El orden con mayor representación de especies fue Carnívora (37%), seguido de Didelphimorphia (12 %) y Rodentia (10%). Las especies con mayor número de reportes fueron *Didelphis marsupialis* (54), *Tamandua mexicana* (44), *Procyon lotor* (24), *Nasua narica* (13) y *Choloepus hoffmanni* (12). Especies como *Mustela frenata*, *Pecari tajacu*, *Galictis vittata*, y *Mephitis macroura* tuvieron tan solo un reporte (Cuadro 3).

En el caso de los anfibios, el cual fue el segundo grupo con mayor número de reportes se registraron un total de 14 especies aproximadamente, pertenecientes a nueve géneros, seis familias, y dos Ordenes, Con las familias Bufonidae, Hylidae, y Leptodactylidae con el mayor número de especies, con tres cada una. Las especies con mayor número de reportes en carreteras fueron: *Chaunus marinus*, (61), *Smilisca sp* (18) y *Leptodactylus pentadactylus* (12). Las especies *Oophaga pumilio*, y *Lithobates vaillanti* con un reporte, fueron las especies menos reportadas (Cuadro 4).

Para reptiles, se reportaron un total de 30 especies aproximadamente, pertenecientes a ocho familias y dos órdenes, teniendo a la familia Colubridae con la mayor representación

de especies (50%), seguido de Viperidae (10%). Las especies con mayor número de reportes fueron: *Iguana iguana* (10), *Ninia sp* (9), *Boa constrictor* (7) y *Bothrops asper* (7), teniendo a *Pseustes poecilonotus*, *Clelia sp*, *Pliocercus euryzonus* y *Bothriechiis schlegelii* con un solo reporte (Cuadro 5).

Cuadro 3. Especies de Mamíferos reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.

Orden	Familia	Especie	N de ind
Artiodactyla	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	2
	Tayassuidae	<i>Pecari tajacu</i>	1
Carnivora	Canidae	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	4
		<i>Canis latrans</i>	2
	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	2
		<i>Puma concolor</i>	2
		<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	1
		<i>Panthera onca</i>	1
	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	10
		<i>Mephitis macroura</i>	1
	Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	2
		<i>Galictis vittata</i>	1
		<i>Mustela frenata</i>	1
	Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	24
		<i>Nasua narica</i>	13
<i>Potos flavus</i>		3	
Chiroptera	Ni	<i>Mamifero sp3</i>	1
	Phyllostomidae	<i>Chiroptera</i>	3
		<i>Chiroptera sp1</i>	1
		<i>Phyllostominae</i>	1
	Natalidae	<i>Chiroptera sp2</i>	1
Cingulata	Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	9
Didelphimophia	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	54
		<i>Philander oposum</i>	3
		<i>Caluromys derbianus</i>	1
		<i>Didelphis sp</i>	1
		<i>Metachirus nudicaudatus</i>	1
Lagomorpha	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	4
		<i>Sylvilagus floridanus</i>	3
		<i>Sylvilagus sp</i>	2

Cuadro 3. Especies de Mamíferos reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica. (Continuación)

Orden	Familia	Especie	N de ind
Pilosa	Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	44
	Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	12
	Bradypodidae	<i>Bradypus variegatus</i>	2
Primates	Atelidae	<i>Alouatta palliata</i>	9
	Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	2
Rodentia	Erethizontidae	<i>Coendou mexicanus</i>	10
	Cricetidae	<i>Roedor sp</i>	8
	Cricetidae	<i>Roedor sp</i>	3
	Sciuridae	<i>Sciurus sp</i>	4
		<i>Sciurus variegatoides</i>	2
		<i>Sciurus granatensis</i>	1
NI	NI	<i>mamifero sp</i>	3
NI	NI	<i>mamifero sp2</i>	1

Cuadro 4. Especies de anfibios reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.

Orden	Familia	Especie	N de individuos
Anura	Bufonidae	<i>Chaunus marinus</i>	61
		<i>Incilius melanochlorus</i>	4
		<i>Rhaebo haematiticus</i>	4
	Dendrobatidae	<i>Oophaga pumilio</i>	1
		Hylidae	<i>Agalychnis callidryas</i>
	<i>Smilisca sp</i>		18
	Leptodactylidae		<i>Leptodactylus pentadactylus</i>
		<i>Leptodactylus savageii</i>	2
		<i>Leptodactylus taylori</i>	4
		NI	<i>Anura</i>
	Ranidae	<i>Lithobates vaillanti</i>	1
		<i>Lithobates taylori</i>	6
		<i>Lithobates forreri</i>	5
Gymnophiona	Caeciliidae	<i>Cecildo sp</i>	3

Cuadro 5. Especies de Reptiles reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.

Orden	Familia	Especie	N de individuos	
Squamata	Boidae	<i>Boa constrictor</i>	7	
	Colubridae	<i>Clelia sp</i>	1	
		<i>Coral falsa</i>	1	
		<i>culebra sp</i>	9	
		<i>Imantodes sp</i>	1	
		<i>Leptodeira annulata</i>	2	
		<i>Leptodeira sp</i>	2	
		<i>Leptophis</i>	1	
		<i>Mastigodryas melanolomus</i>	2	
		<i>morfotipo 1</i>	1	
		<i>Ninia sebae</i>	3	
		<i>Ninia sp</i>	9	
		<i>Pliocercus euryzonus</i>	1	
		<i>Pseustes poesilonotus</i>	1	
		<i>Sabanera</i>	3	
		<i>Trimorphodon quadruplex</i>	2	
		Corytophanydae	<i>Basiliscus plumifrons</i>	4
		Crocodylidae	<i>Crocodylus acutus</i>	2
	Dipsadidae	<i>Sibon nebulatus</i>	2	
		<i>Sibon sp</i>	4	
Elapidae	<i>Micrurus sp</i>	2		
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	2		
	<i>Iguana iguana</i>	10		
Viperidae	<i>Bothriechiis schlegelii</i>	1		
	<i>Bothrops asper</i>	7		
	<i>Porthidium nasutum</i>	2		
	<i>Rhinoclemmys pulcherrima</i>	1		
Testudines	NI	<i>Tortuga</i>	1	
	NI	<i>Reptil sp</i>	2	

Con respecto a las aves, se reportaron alrededor de 16 especies pertenecientes a 10 familias, y cinco órdenes. La especie con mayor número de reportes fue *Coragyps atratus* (16) y *Pitangus sulphuratus* (3). Muchos de los reportes de aves hechos no pudieron ser identificados por su nivel de descomposición, o la deformación en la que quedaron los restos, por ello se quedaron solo en morfotipos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Especies de Aves reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Costa Rica.

Orden	Familia	Especie	N de individuos
Accipitriformes	Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	16
	Accipitridae	<i>Gavilan sp</i>	1
Columbiformes	Columbidae	<i>Columbina livia</i>	1
Galliformes	Phasianidae	<i>Coturnix sp</i>	1
	Cracidae	<i>Crax rubra</i>	1
Passeriformes	NI	<i>ave morfotipo 1</i>	1
	NI	<i>ave morfotipo 2</i>	1
	NI	<i>ave morfotipo 3</i>	1
		<i>Pitangus</i>	
		<i>sulphuratus</i>	3
		<i>Psarocolius</i>	
		<i>montezuma</i>	1
		<i>Quiscalus mexicanus</i>	2
Strigiformes	Turdidae	<i>Turdus sp</i>	1
	Strigidae	<i>Megascops sp</i>	1
	Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	1
NI	NI	<i>ave morfotipo 4</i>	1
NI	NI	<i>Ave sp</i>	24

DISCUSIÓN

Los resultados del proyecto Fauna Silvestre en las Carreteras de Costa Rica hasta el momento, muestran una baja participación por parte del público costarricense, comparado con otros estudios llevados a cabo en Estados Unidos, Brasil, y Uruguay (Lee et al. 2006, Bager y John 2014, Coitiño y Montenegro 2014). En Brasil por ejemplo, en donde fue creado en diciembre del 2014 el sistema URUBU, el cual es una aplicación similar a la de inaturalist, por parte del Centro Brasileiro de Ecología de Estradas (CBEE), han hecho alrededor de 8175 reportes hasta la fecha con 15 mil miembros actualmente (CBEE 2014). Si bien Brasil es un país casi 100 veces más grande que Costa Rica, el mayor número de reportes en ese país se debe a la alta difusión que se ha hecho del proyecto, siendo uno de los más conocidos a nivel mundial (Martins 2014).

Aunque la cantidad de miembros registrados fue relativamente alta para este proyecto, la participación fue demasiado baja, pues de 116 inscritos, eran activos en el grupo solo 3 personas de forma regular, que al analizar los datos resultaron ser personas vinculadas con fauna silvestre. Esto pudo suceder porque la aplicación debió ser mejor explicada, o se debió desarrollar un modo de divulgación mucho mejor, y con mayor frecuencia, ya que la mayoría de la gente que se inscribió lo hizo para las fechas en que se hizo publicidad de la página en medios masivos (Figura 9), pero que no participaron de la iniciativa, presumiblemente porque no entendían la aplicación o porque no le dieron suficiente interés.

Otra posible causa de la baja participación por parte de los miembros del proyecto, pudo ser la existencia de diversas páginas alrededor del este, principalmente en Facebook, pues es un medio masivo donde se puede actualizar de forma periódica el proyecto, pero que por tener tantos nombres alrededor de este, es que se genera tal confusión. En Brasil, el Sistema URUBU posee su propia página en Facebook, y dominio de internet, en donde periódicamente están actualizando con noticias acerca del proyecto (<https://www.facebook.com/sistema.urubu>). Ellos además tienen actualmente una encuesta online para saber más de los participantes del proyecto, y saber su impacto divulgativo donde además piden opinión a los participantes acerca del sistema para perfeccionarlo (CBEE 2014).

En Brasil y Uruguay por ejemplo, se convoca al público en general para hacer jornadas de levantamiento de información de fauna atropellada (Bager y John 2014, Coitiño y Montenegro 2014) algo similar a las jornadas de limpieza de playas realizadas por ONG's, que ayudan a darle más visibilidad a la problemática, y al proyecto. El constante uso de la página por parte de los pocos participantes que reportaron fauna en carreteras (Cuadro 2), muestra la alta capacidad y el gran potencial de la aplicación para almacenar una gran cantidad de datos, los cuales pueden servir para un monitoreo más serio, principalmente en las carreteras identificadas como prioritarias en el capítulo anterior. Devictor et al. (2010), demostró como datos obtenidos por medio de ciencia ciudadana pueden mejorar estudios biogeográficos y contribuir a la conservación a gran escala, usándolos para investigar los principales aspectos del cambio global y su impacto sobre la biodiversidad.

La buena cantidad de registros fotográficos, permitió hacer los reportes de fauna más confiables para su utilización, pues si la persona que hacia el registro no sabía con certeza que especie era, la fotografía permitía una identificación más acertada, que, si solo se hiciera el registro con el nombre, (ej, culebra sabanera). En el análisis de fotografías, muchas de estas no presentaban una referencia de escala, la cual es crucial para la identificación de las especies, si se tiene en cuenta el grado de descomposición del ejemplar, o el nivel de deformación sufrido en el accidente (Figura 14 a,b).

Muchas de las fotografías no fueron tomadas de forma adecuada, y no sirven para una identificación confiable. Esto ocurrió principalmente en las especies de reptiles, puesto que muchas tienen sus caracteres diagnósticos en el conteo y posición de escamas máxime de la cabeza (Figura 14c). Si bien las fotografías no son tan adecuadas para la identificación de herpetofauna y aves, la identificación de mamíferos especialmente de mediano y gran porte, suelen ser muy efectivas por su relativo fácil reconocimiento (Figura 14d). En los resultados se evidencia, que casi la totalidad de registros hechos son de fauna atropellada con el 94%. Hacer el reporte de un animal vivo cruzando las carreteras tiene una mayor dificultad, ya que por lo general la gente que va en el vehículo observa al individuo de forma rápida, y al momento de querer devolverse a hacer el registro puede equivocarse en su posición e identificación, y más si no son especialistas en fauna silvestre.

Otra razón, para los pocos registros hechos de animales vivos, es que muchos animales que detectan el movimiento de vehículos no se atreven a pasar, si estos están aún escondidos en coberturas adyacentes. Forman et al. (2003) exhibe dos tipos

principales de comportamiento de los animales frente a las carreteras: atracción, y conducta de rechazo. Esta última debido al ruido automotor, superficie expuesta, o presencia de vehículos. Ciertos organismos tienen la capacidad de evitar los vehículos identificando el acercamiento de estos y moviéndose en dirección contraria (Jaeger et al. 2005). Este tipo de comportamiento es interpretado como un intento de moverse fuera de peligro, disminuyendo el riesgo de ser atropellado. Muchos estudios han demostrado que varias especies incluyendo anfibios reptiles, aves y mamíferos, son capaces de identificar un vehículo en movimiento y activar algún tipo de respuesta para evitarlo (Andrews y Gibbons 2005, Ford y Fahrig 2008, Bouchard et al. 2009, Parris y Schneider 2009).

Existen numerosos estudios describiendo el hábitat y las características de las carreteras donde ocurren los atropellos de fauna silvestre (Madsen et al. 2002, Barthelmess y Brooks 2010, Saenz 2012, Barthelmess 2014). Contrario a esto, es escasa la información de los atributos en los sitios donde la fauna silvestre cruza con éxito (Brandenburg 1996, Lovallo y Anderson 1996, Austin 1998). A pesar del bajo número de registros de animales vivos cruzando carreteras (Cruces con éxito) en este trabajo, cabe resaltar su importancia, pues según Clevenger et al. (2002) estos cruces pueden suceder en distintos sitios a los lugares en donde ocurren los atropellos, los cuales pueden tener poco en común. No obstante, la cuestión relevante es que tan similares son las locaciones de cruces con éxito y los sitios con atropellos, ya que los planes de mitigación en las carreteras, podrían verse beneficiados de un mejor entendimiento, puesto que los esquemas de mitigación pueden ser diferentes en cada locación (Clevenger et al. 2002).

Con respecto a la fauna reportada en el proyecto, los mamíferos son los que tienen el mayor número de registros. Este grupo, al ser uno de los más conspicuos por su gran porte, los hace más fáciles de ver por parte de los participantes, pues los conductores no van pendientes de la carretera, algo que si sucede en un estudio estandarizado, donde se va con una velocidad baja y constante, lo cual permite el registro de fauna mucho más pequeña como los anfibios, roedores, murciélagos, aves pequeñas, etc. Artavia (2015) señala que el mayor número de reportes fue de anfibios, seguido de mamíferos, y cuando hizo muestreo por parcelas puntuales en la carretera encontró la mayoría de murciélagos reportados. Pero en este proyecto han sido registrados una gran cantidad de datos de anfibios por parte de personas que son especialistas en este grupo.

Los mamíferos con mayor número de reportes fueron las especies *Tamandua mexicana* y *Didelphis marsupialis* (Cuadro 3), algo similar a lo encontrado en otros

trabajos en Costa Rica (Saenz 2012, Artavia 2015). La alta mortalidad de estas especies puede ser debido a su alta abundancia, ya que son especies generalistas, con una capacidad reproductiva alta, Además, su locomoción lenta hace que estos animales sean fácilmente atropellados. No obstante, esta es una de las principales causa de disminución de poblaciones y es considerada una de sus principales amenazas, especialmente en el oso hormiguero (Ortega-Reyes et al. 2014).

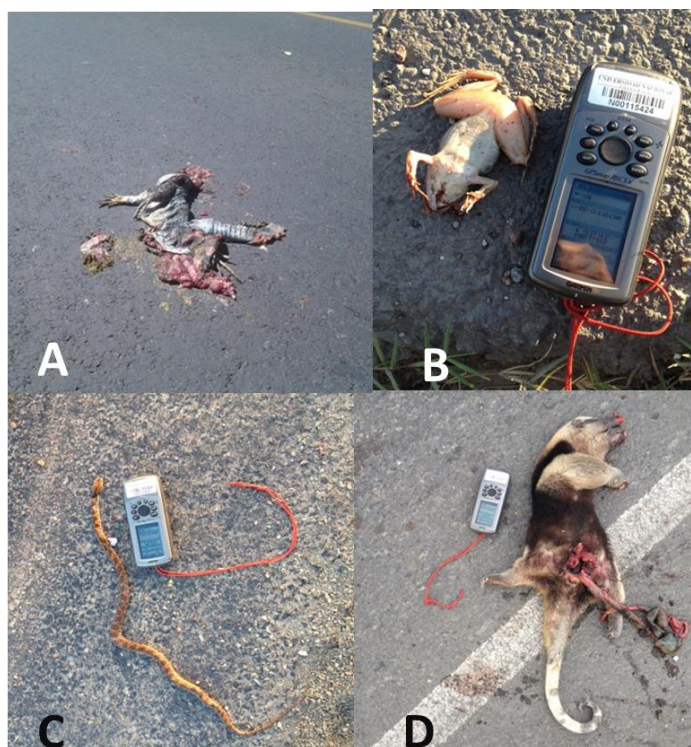


Figura 14 (A) Fotografía de reporte sin un objeto de referencia, (B) Fotografía con objeto de referencia de escala (C) Fotografía de serpiente que es poco útil para identificar la especie, (D) Fotografía de mamífero fácilmente identificable.

En el caso de los anfibios, *Chaunus marinus*, fue la especie más reportada (Cuadro 4). El sapo común por su capacidad de adaptarse incluso a ambientes urbanos, teniendo preferencias por carreteras, pastos y áreas abiertas, ha sido capaz de adaptarse a una gran variedad de ambientes antrópicos, por lo cual sus poblaciones según la IUCN tienden a incrementar (Solís et al. 2009). En este trabajo representó el 45% de los reportes de anfibios lo cual puede ser debido a su gran abundancia.

Con respecto a los reptiles, la especie más reportada fue *Boa constrictor* (Cuadro 5). Al ser una especie de gran tamaño, tiene una movilidad baja, por lo tanto, su reacción frente

a un automóvil es lenta. Las especies de reptiles se ven atraídas a las carreteras, en busca de las altas temperaturas del asfalto, luz artificial y disponibilidad de recursos alimenticios (Jaeger et al. 2005). Recientes trabajos han mostrado como la animadversión que se tiene frente a las serpientes, genera que las personas atropellen estas especies porque las consideran peligrosas, y sea una de las principales amenazas de este grupo (Secco et al. 2014). Este reporte coincide con datos publicados por Artavia (2015), en donde fue una de las especies de reptiles más reportadas, junto con *N. sebae*.

Por último, para el caso de las aves, la especie más reportada fue el zopilote (*Coragyps atratus*) (Cuadro 6). Esta ave carroñera, es muy abundante a lo largo de su distribución, y al alimentarse de cadáveres puede estar muriendo por la atracción hacia animales muertos en carreteras (Artavia 2015). Muchos de los registros de aves hechos en el proyecto, no cuentan con una identificación exacta, ya que al ser un grupo cuyos caracteres morfológicos externos, y características de plumaje y postura de las mismas son claves para identificarlas hasta nivel de especie, esto no es posible pues el cuerpo y las plumas, quedan muy deformes y en algunos casos por su tamaño pequeño irreconocibles.

La ciencia ciudadana aparte de ser un buen método en la recolección de datos de forma masiva y durante largos periodos de tiempo, sirve como un elemento educativo, pues mientras la gente es alentada a participar en ciencia, estas van adquiriendo conocimientos y conciencia con el problema, que incluso puede transmitir, dándole a esta iniciativa una doble función (Lepczyk et al. 2009). Muchos de los proyectos en conservación no funcionan porque los actores locales no tienen sentido de pertenencia hacia el mismo, una buena manera de lograrlo es por medio de esta metodología. Un componente crítico de este esfuerzo es la creación de material educativo incluyendo información de fondo, que permite a los participantes entender teorías más allá de la investigación, una descripción comprensiva de las preguntas de investigación, y una clara descripción de los protocolos que deben ser probados para llevar a cabo las observaciones (Dickinson et al. 2012).

Para los proyectos en ciencia ciudadana, los beneficios potenciales van desde adquirir destrezas necesarias para coleccionar los datos adecuadamente, hasta generar un pensamiento crítico y científico, en la que los participantes apliquen los conocimientos para generar preguntas nuevas y luego diseñar estudios o desarrollar modelos para

responder a esas preguntas (Jordan et al. 2011). Finalmente, los juicios de valor por parte del público, son ahora reconocidos como instrumentos esenciales para el diseño y la comunicación de las políticas referentes a la biodiversidad (Miller 2006, Fischer y Young 2006), algo que sería un punto a favor en la planificación adecuada de las mejoras, y construcciones nuevas en las carreteras de Cota Rica.

CONCLUSIONES

A pesar de la baja participación por la mayoría de los usuarios, hubo un alto número de registros, con el 62% de estos como registro de alta calidad, este aspecto le confiere al proyecto la funcionalidad de poder ser utilizado en el planeamiento de carreteras abordando la problemática de atropellamiento de fauna silvestre.

La gran mayoría de reportes en este proyecto fueron de mamíferos medianos, que por su tamaño relativamente grande pueden ser fácilmente avistados por los usuarios del proyecto. Por lo tanto, este método parece tener una limitación con respecto a fauna de menor porte como los anfibios, algunos reptiles, y mamíferos pequeños.

RECOMENDACIONES

Realizar talleres de entrenamiento para las personas que habitualmente recorren las carreteras, al menos, de las que cruzan, bordean o están cerca de áreas protegidas identificadas en este estudio como prioritarias (ej funcionarios del MINAE, ICE, SINAC, guardaparques, encargados del mantenimiento de las vías, etc.) es necesario para mejorar la calidad y cantidad de reportes, que puedan servir para investigaciones más robustas y preguntas más globales.

Una publicidad masiva y continua del proyecto en redes sociales (Facebook, Twitter) y medios de comunicación masivos como televisión (Teletica) y prensa escrita (La Nación) aumentarían de manera significativa el registro de datos por parte de los usuarios para mejorar el proyecto a largo plazo y aumentar la cantidad de datos registrados.

Realizar entrevistas a los miembros inscritos por medio del usuario creado en el proyecto acerca del porque no hicieron ningún reporte, ayudaría a entender las causas y dar un mayor enfoque y una mejor transmisión de la información para que haya más participación en el proyecto.

Es indispensable que, para llevar a cabo una buena gestión de datos, y así corregir las especies mal identificadas, o que tienen datos incompletos, haya un experto para cada grupo taxonómico, que sirva como curador de los registros realizados, para que sean datos más confiables para el análisis.

Otorgar incentivos tales como certificados de reconocimiento, o credenciales para participación de eventos, sería una medida muy oportuna, ya que motivaría a los voluntarios, y los haría visibles en la comunidad que tarde o temprano reconocerían sus esfuerzos.

Se propone que el proyecto Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica, lo asuma el SINAC, sobre todo, para analizar datos de las carreteras que cruzan áreas silvestres protegidas.

LITERATURA CITADA

- Abecker, A., S. Braun, W. Kazakos, y V. Zacharias. 2012. Participatory Sensing for Nature Conservation and Environment Protection. Core Application Areas.
- Andrews, K. M., y J. W. Gibbons. 2005. How do highway influence snake movement? Behavioral responses to roads and vehicles. *Copeia* 4:772–782.
- Artavia, R. 2015. Identificación y caracterización de cruces de fauna silvestre en la sección de la ampliación de la carretera nacional Ruta 32, Limón, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Austin, M. 1998. Wolverine winter travel routes and response to transportation corridors in Kicking Horse Pass between Yoho and Banff National Parks. University of Calgary.
- Bager, A., y L. John. 2014. Dê passagem para a vida. centro Brasileiro de estudos em ecologia de estradas.
- Barthelmeß, E., y M. Brooks. 2010. The influence of body-size and diet on road-kill trends in mammals. *Biodiversity and Conservation* 19:1611–1629. Springer Netherlands. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10531-010-9791-3>>.
- Barthelmeß, E. L. 2014. Spatial distribution of road-kills and factors influencing road mortality for mammals in Northern New York State. *Biodiversity and Conservation* 23:2491–2514.
- Bouchard, J., A. T. Ford, F. E. Eigenbrod, y L. Fahrig. 2009. Behavioral responses of Northern Leopard Frogs (*Rana pipiens*) to roads and traffic: Implications for population persistence. *Ecology and Society* 14:23.
- Brandenburg, D. 1996. Effects of roads on behavior and survival of black bears in coastal North Carolina. University of Tennessee.
- Brown, J. 1995. Macroecology. Chicago press.
- CBEE. 2014. Sistema URUBU, Centro Brasileiro da Estudios em Ecologia da Estradas. <http://cbee.ufla.br/portal/sistema_urubu/urubu-info.php>.

- Clevenger, A. P., B. Chruszcz, K. Gunson, y J. Wierzchowski. 2002. Roads and wildlife in the Canadian Rocky Mountain Parks - Movements, mortality and mitigation Final report to Parks Canada. Banff, Alberta, Canada.
- Clevenger, A. P., y N. Waltho. 2000. Factors Influencing the Effectiveness of Wildlife Underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology* 14:47–56. Blackwell Science Inc. <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.00099-085.x>>.
- Coitiño, H., y F. Montenegro. 2014. Impacto de rutas sobre la fauna de vertebrados de Uruguay. <<http://impactorutasecobiouy.blogspot.com/>>.
- Devictor, V., R. J. Whittaker, y C. Beltrame. 2010. Beyond scarcity: citizen science programmes as useful tools for conservation biogeography. *Diversity and Distributions* 16:354–362. <http://vincent.devictor.free.fr/Articles/Devictor_CitizenScience_2010.pdf>.
- Dickinson, J. L., J. Shirk, D. Bonter, R. Bonney, R. L. Crain, J. Martin, T. Phillips, y K. Purcell. 2012. The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10:291–297. Ecological Society of America. <<http://dx.doi.org/10.1890/110236>>.
- Dickinson, J. L., B. Zuckerberg, y D. N. Bonter. 2010. Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41.
- Fischer, A., y J. C. Young. 2006. Understanding mental constructs of biodiversity: Implications for biodiversity management and conservation. *Biological Conservation* 136:271–282.
- Ford, A. T., y L. Fahrig. 2008. Movements patterns of eastern chipmunks (*Tamias striatus*) near roads. *Journal of Mammalogy* 89:895–903.
- Forman, R. T., D. Sperling, J. A. Bissonette, A. P. Clevenger, D. C. Cutshall, V. H. Dale, L. Fahri, R. France, C. R. Goldman, K. Heanue, J. A. Jones, F. J. Swanson, T. Turrentine, y T. C. Winter. 2003. Road ecology: science and solutions. Island Press, Washington D.C.

- Foster, M., y S. Humphrey. 1995. Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin* 23:95–100.
- Hammel, B. E., M. H. Grayum, C. Herrera, y N. Zamora. 2004. *Manual de Plantas de Costa Rica*. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, Missouri.
- Instituto Meteorológico Nacional, (IMN). 2007. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Reg_climaCR.pdf>. Accessed 5 Feb 2015.
- ITCR, (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2004. *Atlas digital de Costa Rica*. (CD-ROM). Cartago, CR.
- Jaeger, J. A. G., J. Bowman, J. Brennan, L. Fahrig, D. Bert, J. Bouchard, N. Charbonneau, K. Frank, B. Gruber, y K. T. von Toschanowitz. 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling* 185:329–348.
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380005000050>>.
- Jordan, R., S. Gray, D. Howe, W. Brooks, y J. Ehrenfeld. 2011. Knowledge gain and behavioral change in citizen-science programs. *Conservation Biology* 25::1148-54. <https://www.google.com.co/_/chrome/newtab?espv=2&ie=UTF-8>. Accessed 10 Jul 2015.
- Lee, T., M. S. Quinn, y D. Duke. 2006. Citizen, Science, Highways, and Wildlife: Using a Web-based GIS to Engage Citizens in Collecting Wildlife Information. *Ecology and Society* 11:11.
- Lepczyk, C., O. Boyle, T. Vargo, P. Gould, y R. Jordan. 2009. Citizen science in ecology: the intersection of research and education. *Bull. Ecol. Soc. Am.* 2009:308–17.
- Lovallo, M. J., y E. M. Anderson. 1996. Bobcat movements and home ranges relative to roads in Wisconsin. *Wildlife Society Bulletin* 24.
- Madsen, A. B., H. Strandgaard, y A. Prang. 2002. Factors causing traffic killings of roe deer *Capreolus capreolus* in Denmark. *Wildlife Biology* 8:55–61.

- Martins, A. 2014. Una aplicación para salvar más de 400 millones de animales. <http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/12/141203_finde_brasil_atropellamiento_s_am>.
- Miller, J. R. 2006. Restoration, reconciliation, and reconnecting with nature nearby. *Biological Conservation* 127:356–361.
- MOPT, M. de O. P. y T. 2011. Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. Costa Rica.
- Ortega Reyes, J., D. G. Tirira, M. Arteaga, y F. Miranda. 2014. *Tamandua mexicana*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2. <www.iucnredlist.org>E. Downloaded on 06 July 2015.>.
- Parris, K. M., y A. Schneider. 2009. Impacts of traffic noise and traffic volume on birds of roadside habitats. *Ecology and Society* 14.
- Saenz, J. 2012. Mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento en la carretera interamericana Area Conservacion Guanacaste y determinacion pasos de fauna. <<http://es.slideshare.net/roseamena/2-joel-saenz-acg>>. Accessed 5 Aug 2014.
- Secco, H., P. Ratton, E. Castro, P. da S. Lucas, y A. Bager. 2014. Intentional snake road-kill: a case study using fake snakes on a Brazilian road. *Tropical Conservation Science* 7:561–571.
- Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42:371–382. <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2664.2005.01013.x>>. Accessed 25 Feb 2015.
- Sherwood, B., D. Cutler, y J. Burton. 2002. *Wildlife and roads: the ecological impact*. Imperial College Press, Londres, UK.
- Solís, F., R. Ibáñez, G. Hammerson, B. Hedges, A. Diesmos, M. Matsui, J.-M. Hero, S. Richards, L. Coloma, S. Ron, E. La Marca, J. Hardy, R. Powell, F. Bolaños, G. Chaves, y P. Ponce. 2009. *Rhinella marina*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2. <www.iucnredlist.org>E. Downloaded on 06 July 2015.>.

- Spellerberg, I. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography* 7:317–333. Blackwell Science Ltd.
- van der Ree, R. J., A. G. Jaeger, E. A. van der Grift, y A. P. Clevenger. 2011. Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. *Ecology and Society* 16:48.
- Vercayie, D., y M. Herremans. 2015. Citizen science and smartphones take roadkill monitoring to the next level. *Nature Conservation* 11:29–40. Pensoft Publishers. <<https://doi.org/10.3897/natureconservation.11.4439>>.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney., L. Lubchenco, y J. M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494–499.

CAPÍTULO 3

PREDICCIÓN DE SITIOS DE ATROPELLAMIENTO DEL OSO HORMIGUERO (*Tamandua mexicana*) EN CARRETERAS DE COSTA RICA, USANDO DATOS DE CIENCIA CIUDADANA.

Diego Rolando Gutiérrez Sanabria

2017

RESUMEN

El número de colisiones vehículos-fauna silvestre por año está aumentando de forma vertiginosa principalmente en países en desarrollo. Esto ha generado una reducción drástica en las poblaciones de algunas especies afectadas, lo cual puede acarrear incluso extinciones locales. El oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) es uno de los mamíferos más abundantes en el Neotrópico, y una de sus principales amenazas, es la muerte en carreteras. Teniendo en cuenta este aspecto, y para mostrar uno de los posibles usos de datos obtenidos por medio de ciencia ciudadana, el objetivo de este estudio fue determinar qué características del paisaje están relacionadas a los sitios de atropellos para el oso hormiguero. Para esto se usaron registros del oso hormiguero obtenido por medio del proyecto Fauna en Carreteras de Costa Rica. Para la obtención de las variables de paisaje se usó el mapa de coberturas, ríos, poblados y carreteras de Costa Rica, y se analizó por medio de SIG. Para determinar que variables fueron las más influyentes en los atropellos de oso hormiguero, usé modelos de regresión logística. De los 66 registros reportados, solo 56 fueron datos confiables para el análisis. El 98% de los registros ocurrió en carreteras primarias, y el 90% en secciones rectas de carreteras. Las variables de paisaje más influyentes en el atropello del oso hormiguero fueron, la cercanía a bosques, mayor porcentaje a de tierras no forestales y mayor distancia a poblados. Los resultados según los modelos, indican que carreteras primarias en secciones rectas, con cercanía y mediana proporción de bosques alejados de los centros urbanos, son los sitios con mayor probabilidad para que esta especie sea atropellada. Esto indica que para medidas de mitigación futuras concernientes a esta especie, se deben tener en cuenta estas variables, a la hora de reducir el impacto por atropellos, y por ende la pérdida de conectividad para las poblaciones de esta especie.

Palabras claves: Ciencia ciudadana, ecología de carreteras, oso hormiguero, fauna atropellada, regresión logística, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son vías que están entre las infraestructuras humanas más ubicuas, y su interacción con el medio ambiente es de las más invasivas. Los impactos de las carreteras al medio ambiente son numerosos, incluyendo destrucción de hábitat, y cambios en la dinámica de los ecosistemas (Spellerberg 1998, Malo et al. 2004). Este último incluye principalmente efectos sobre las poblaciones de mamíferos, cuyos rangos de hogar sufren disrupciones, y en algunos casos mortalidad por colisión con los vehículos (Malo et al. 2004), así como restricción en el movimiento de los animales, y por ende pérdida de flujo genético (Andrews y Gibbons 2005).

El número de colisiones vehículos-fauna silvestre por año según estimaciones en Estados Unidos excede en número a la de la cacería. Esta problemática está aumentando de forma vertiginosa principalmente en países en desarrollo, que en su afán por convertirse en países desarrollados, han aumentado la densidad de carreteras. En Brasil por ejemplo, se han hecho estimaciones de fauna atropellada, y han llegado a la preocupante cifra de 475 millones de animales muertos por año, principalmente de animales de pequeño porte (Bager y John 2014). En países de zonas templadas, las pérdidas por colisiones generan grandes costos materiales. En Estados Unidos, en promedio estos costos son de 1500 dólares por colisión, además de ser un problema de salud pública, por la pérdida de vidas en choques con fauna, ya que del 14 al 18% de estos accidentes ocurren con uno de los grandes mamíferos (*Alces alces*) en este país (Conover et al. 1995). No obstante, para países en el Neotrópico, es una problemática secundaria, ya que, al ser la mayoría de colisiones con animales de pequeño y mediano porte, generan poco o nulo costo, tanto económico como humano.

Es ampliamente aceptado que la eliminación por completo del problema es imposible, y el objetivo es reducir las tasas de atropellos a niveles que las poblaciones de animales sean capaces de soportar (Malo et al. 2004), mientras la sociedad implementa campañas públicas de concienciación al problema (Stout et al. 1993). El diseño e implementación de medidas de mitigación se convierten entonces, en los aliados de la biodiversidad a nivel mundial para reducir el número de atropellos. La ubicación adecuada de los pasos de fauna, y otras medidas como cercas para fauna, reductores de velocidad y señalización, etc. (Clevenger y Waltho 2000), son críticos para la efectiva mitigación del efecto barrera causado por las carreteras. Sin embargo, pocas aproximaciones metodológicas para identificar y priorizar estas áreas clave han sido

explorados en el trópico (Bueno et al. 2013, Bager et al. 2014). Investigaciones al respecto en España encontraron que el 70% de las colisiones ocurrían en tan solo el 7.7 % de las carreteras en el área de su estudio (Malo et al. 2004). Las colisiones tienden a ocurrir donde los animales encuentran facilidad para cruzar, principalmente en ausencia de poblaciones humanas; vallas o muros de contención, y sitios inclinados que disuaden a los animales de cruzar esos sitios. La disponibilidad de hábitat a cada lado de la carretera es otro factor que los animales tienen en cuenta para cruzar (Clevenger y Huijser 2011).

Muchos modelos predictivos han servido para identificar estos sitios en secciones de carretera con alta probabilidad de colisión, y los puntos de cruce específicos con alto riesgo (Malo et al, 2004; Seiler 2005; Barthelmess 2014, de Freitas et al. 2015). La mayoría de estudios en Costa Rica, se han enfocado en características de secciones de carretera con altas tasas de colisiones (Arce et al. 2012, Saenz 2012, Arévalo-Huezo y Pomareda 2013, Artavia 2015). No obstante, pocos se han enfocado en analizar variables de puntos específicos por especie, donde la colisión con el animal ha ocurrido usando modelos predictivos. Además, todos los estudios de modelos predictivos se han llevado a cabo en Brasil (Bueno et al. 2013, de Freitas et al. 2015) y principalmente en Norte América y Europa (Clevenger et al. 2003, Malo et al. 2004, Seiler 2005).

La colecta de datos de fauna en carreteras es una de las grandes falencias en este tipo de estudios, principalmente a escalas más grandes, pues muchos proyectos se hacen en localizaciones específicas (secciones de carretera), y la mayoría de estos datos no son compartidos por los diferentes proyectos. La ciencia ciudadana ha demostrado ser una herramienta efectiva a la hora de suplir esta falencia, ya que permite el registro de una gran cantidad de datos, en un tiempo constante, y permite realizar estudios a diferentes niveles ecológicos (de especies individuales, a procesos ecosistémicos), como cambios en fenología, cambios de uso de suelo, o diferentes problemas de conservación, como el cambio climático y la valoración de áreas protegidas (Dickinson et al. 2010).

Sin embargo, para un dado esfuerzo de muestreo hay un inherente costo-beneficio entre monitoreo de la biodiversidad en pocos sitios continuamente versus monitorear muchos sitios esporádicamente. El primer acercamiento permite una muy detallada información de lo que está pasando en pocos puntos a lo largo del espacio y el tiempo. La segunda aproximación, la cual es adoptada generalmente por los programas de ciencia ciudadana, proporcionan una manera de evaluar resultados locales a una mayor escala,

aunque los datos aportan pequeña cantidad de información comparado con el anterior (Devictor et al. 2010). Es por eso, que el principio y condición básica de los datos de ciencia ciudadana, es usar protocolos estandarizados muy simples y replicables a través de muchos sitios, para dar conclusiones más amplias tanto espacial como temporalmente (Devictor et al. 2010).

La ciencia ciudadana se ha usado para proyectos de impactos de la vías sobre la vida silvestre, principalmente en proyectos de carreteras en Suramérica, Norte América, y Europa (Lee et al. 2006, CBEE 2014, Olson et al. 2014, Paul et al. 2014, Shilling y Waetjen 2015, Vercayie y Herremans 2015). En estos estudios se han comparado la forma convencional (muestreos sistemáticos) con la toma de datos oportunista (ciencia ciudadana) y han encontrado que con ambos métodos se puede hacer toma de decisiones que ayuden a mitigar el impacto de las vías sobre la fauna silvestre (Olson et al. 2014). Shilling y Waetjen (2015) incluso proponen un proyecto basado en un sistema de voluntariado en línea para ayudar a complementar la información obtenida por las agencias de transporte. Sin embargo, y aunque esta metodología se está usando en varios países de Latinoamérica como Recosfa en Colombia, sistema Urubu en Brasil e Impacto de rutas sobre la fauna de vertebrados de Uruguay, aun no se han presentado los primeros trabajos en donde se usen esos datos para generar modelos predictivos o estudios ecológicos en general, que permitan tomar decisiones acerca de esta problemática.

El oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) es uno de los mamíferos más abundantes en el Neotrópico. Esta especie es encontrada en una gran variedad de hábitats como bosques húmedos y secos, bosque de galería, y bosques deciduos, y puede sobrevivir en bosque secundario o áreas degradadas. En Costa Rica ha sido reportada como una de las especies más atropelladas en la vías en diferentes estudios (Monge-Nájera 1996, Arce et al. 2012, Saenz 2012, Arévalo-Huezo y Pomareda 2013, Artavia et al. 2015) y es considerada una de las principales amenazas, a lo largo de su distribución (Catzeflis y Benoit de Thoisy 2012, Ortega Reyes et al. 2014).

Teniendo en cuenta este aspecto, y para mostrar uno de los posibles usos de datos obtenidos por medio de ciencia ciudadana, el objetivo de este estudio fue determinar, qué características de paisaje están relacionadas a los sitios con mayor probabilidad de atropellos para el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), usando datos obtenidos en el proyecto de Fauna en Carreteras de Costa Rica.

ÁREA DE ESTUDIO

Costa Rica tiene una extensión aproximada de 51,100km². Por su ubicación geográfica entre un mar y un océano, con montañas que cubren más de la mitad de su área terrestre, con una gama de elevaciones hasta los 3800 metros y con variaciones en temperatura y pluviosidad, contiene un conjunto de hábitat que permite albergar una enorme biodiversidad. Se estima que un 4% de las especies terrestres del planeta se encuentran en Costa Rica, a pesar de que solo cuenta con el 0,01% de la extensión global, lo cual constituye un patrimonio y un recurso natural de grandes magnitudes (Gómez 1986).

Costa Rica, como país tropical, posee una gran diversidad de ecosistemas, tanto marinos como terrestres y de agua dulce. Uno de los sistemas más utilizados de clasificación de los bosques es el de Zonas de Vida de Holdridge, que divide Costa Rica en 12 zonas de vida y 12 zonas de transición, con base en factores ambientales como humedad, precipitación y temperatura. Según esta clasificación, los cinco principales bosques en términos de extensión en Costa Rica son Bosque muy húmedo tropical, Bosque muy húmedo premontano, Bosque pluvial montano bajo Bosque pluvial premontano, Bosque húmedo tropical (Gómez 1986, Bolaños et al. 2005).

De acuerdo al Banco mundial, Costa Rica tiene una densidad de carreteras de 691.39 Km / 1000 Km², convirtiéndolo en el país con más densidad de carreteras en Centroamérica, lo cual genera un impacto considerable sobre la biodiversidad en la región. La red vial de Costa Rica contiene cinco tipos de carreteras (Figura 1), de acuerdo a sus características de flujo vehicular, ancho y si son o no pavimentadas (MOPT 2011). Este estudio se centró en las carreteras primarias, secundarias, y terciarias, que por sus características pueden tener un impacto significativo sobre la fauna silvestre. Estas carreteras están inmersas en un paisaje heterogéneo, con parches de bosques, y tierras agrícolas y zonas urbanizadas, con un flujo vehicular diario superior a los 2000 vehículos (Figura 15).

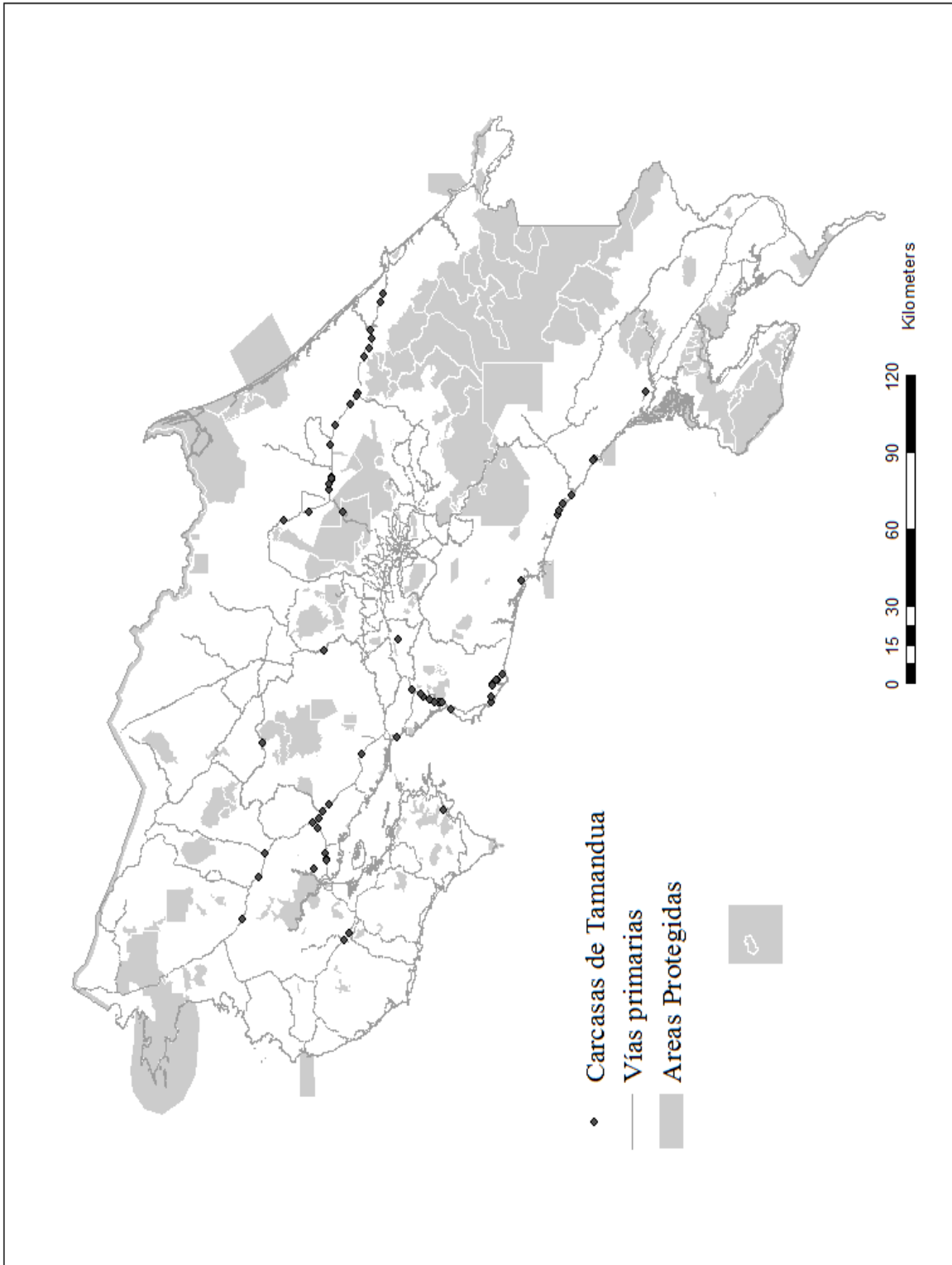
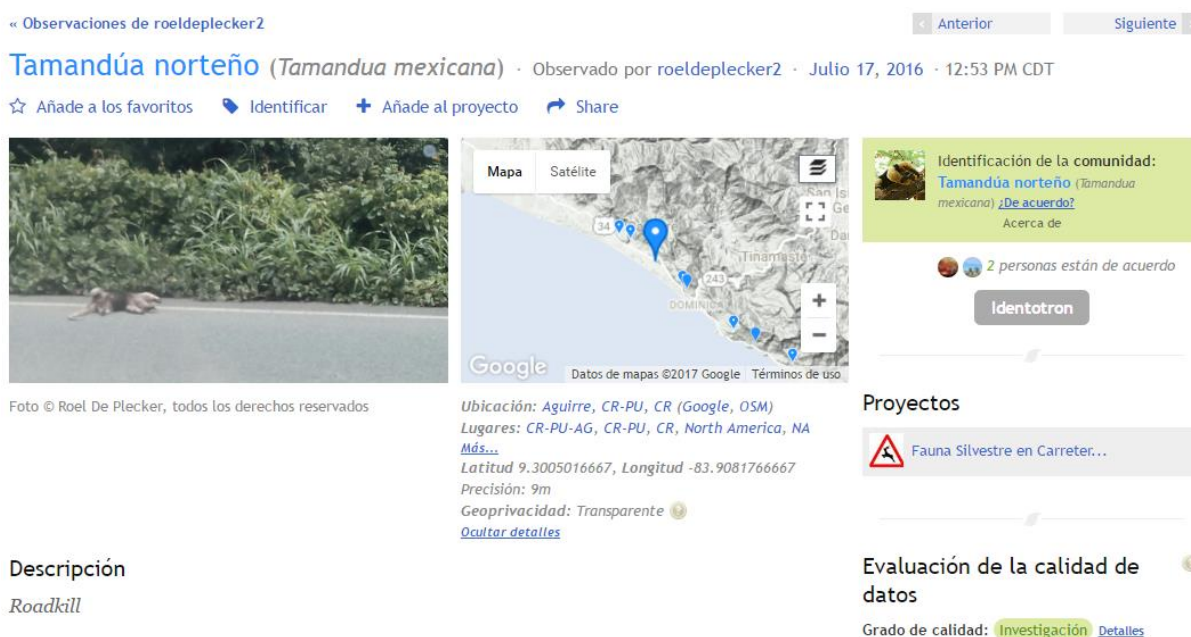


Figura 15. Los puntos negros indican los sitios de colisión con oso hormiguero (*Tamandua mexicana*); Las líneas grises indican las vías principales donde se reportaron los atropellos, y las áreas grises son las áreas protegidas de Costa Rica.

MÉTODOS

Obtención de datos

Los registros del oso hormiguero fueron filtrados y descargados en formato csv de la plataforma de inaturalist, dentro del proyecto Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica. Estos registros fueron revisados uno a uno para verificar la identificación correcta de la especie, la cual tenía como datos: el estado del animal, la fecha, la persona que lo registró, la fotografía, y las coordenadas del punto de atropello o avistamiento, a lo largo de las carreteras de Costa Rica. Si el registro no tenía fotografía, se verificaba que la persona responsable del registro fuera especialista en el área. Además, se revisó la exactitud geográfica de cada registro, para saber si era confiable (Figura 16).



« Observaciones de roeldeplecker2 Anterior Siguiente

Tamandúa norteño (*Tamandua mexicana*) · Observado por roeldeplecker2 · Julio 17, 2016 · 12:53 PM CDT

☆ Añade a los favoritos Identificar + Añade al proyecto Share

Foto © Roel De Plecker, todos los derechos reservados

Mapa Satélite

Ubicación: Aguirre, CR-PU, CR (Google, OSM)
 Lugares: CR-PU-AG, CR-PU, CR, North America, NA
[Más...](#)
 Latitud 9.3005016667, Longitud -83.9081766667
 Precisión: 9m
 Geoprivacidad: Transparente 📍
[Ocultar detalles](#)

Identificación de la comunidad:
Tamandúa norteño (*Tamandua mexicana*) ¿De acuerdo?
 Acerca de

👤 2 personas están de acuerdo

Identotron

Proyectos

⚠️ Fauna Silvestre en Carreter...

Evaluación de la calidad de datos 📝

Grado de calidad: Investigación [Detalles](#)

Figura 16. Reporte validado, en donde se tiene el registro fotográfico de la especie, la precisión geográfica con 9 metros de error, y una correcta identificación de la especie.

Atributos de paisaje en los sitios de colisión

Para evaluar las características asociadas los sitios de las colisiones a nivel de paisaje, se usó los datos del atlas de Costa Rica (ITEC 2014), y el Mapa de Tipos de Boques 2013 (SIREFOR 2014), los cuales fueron interpretados y analizados usando sistemas de información geográfica (SIG). Dentro de los tipos de cobertura distinguidos para este análisis fueron tres tipos de bosques (secundario, maduro, decíduo), tierra no forestal,

pastos, distancia a ríos, bosques, poblados y densidad de carreteras. Todas estas métricas fueron procesadas usando ArcGIS versión 10.3 (ESRI 2014).

Se analizaron datos de usos del suelo y medidas de paisaje para 125 locaciones distribuidas en las carreteras de Costa Rica. De estos 125 sitios 57 fueron sitios donde hubo registros de atropellos de oso hormiguero, y 68 de sitios que se generaron al azar como sitios de control por medio de ArcGIS, en las mismas carreteras donde ocurrieron los atropellos, esto con el fin de evitar alta heterogeneidad en los datos (Es decir no comparar sitios en carreteras primarias, con carreteras terciarias o de lastre). No obstante, se dejó una distancia no inferior a 1 km entre punto de atropello y punto control, para garantizar independencia de los datos (evitar auto correlación entre los puntos de atropello y puntos de control).

Se trazó un buffer de 500 metros alrededor de cada punto de colisión y de punto control, según lo propuesto por Seiler (2005), en donde se tiene en cuenta el rango de hogar diario que puede usar la especie (Brown et al. 2014). En cada uno de los puntos se calculó la proporción de cada uno de los tres usos de suelo principales presentes. Adicionalmente, se calculó la distancia a cuerpos de agua, poblados, y bosques más cercanos, así como presencia o no de ecotonos (si fue hábitat diferente a cada lado de la carretera), y densidad de carreteras como variables que puedan explicar los atropellos del oso hormiguero. Teniendo en cuenta que se usaron registros de atropello de la especie hechos por medio del protocolo de ciencia ciudadana (descrita en el capítulo 2), muchas variables que deben ser realizadas en campo, principalmente, asociadas a las características de la carretera, no fueron incluidas en este estudio, a pesar de son considerados en otros estudios como factores importantes (Finder et al. 1999, Clevenger et al. 2003, Malo et al. 2004, Barthelmess 2014).

Análisis estadísticos

Antes de conducir los análisis de regresión y, para evitar multicolinealidad entre las variables explicativas, se retuvieron las variables con gran efecto explicativo en la probabilidad de atropellos del oso hormiguero que no estuvieran fuertemente correlacionadas. Para evaluar esto, se usó la función `panel.cor` en R con un umbral ≥ 0.70 (R Development Core Team 2008). Como se explicó anteriormente, hubo una alta correlación entre bosques secundarios, bosques primarios y bosques deciduos ($R > 0.70$), por lo tanto, se eliminó esta subdivisión y se dejó solo bosques como tipo de cobertura.

Se realizaron modelos de regresión logística para examinar los efectos de las variables predictoras sobre la probabilidad que un animal sea atropellado en un sitio específico (Manly et al. 2002). Se utilizaron modelos lineales generalizados, bajo la distribución binomial y función de enlace *logit*, en donde 1 indica presencia de atropellos y 0 representan los puntos de control. Para escoger los modelos que mejor explican los sitios donde ocurren atropellos del oso hormiguero, se usó el Criterio de Información de Akaike (AIC) con una corrección para muestras pequeñas (AICc), por medio del paquete *glmulti* (Calcagno y Mazancourt, 2010). En resumen, este paquete genera una búsqueda exhaustiva de los modelos candidatos y reporta el mejor modelo con el valor más pequeño del AIC seleccionándolo como el mejor de forma automatizada (Calcagno y Mazancourt, 2010). Además, muestra todos los modelos con $IC < 2$.

Se realizó una prueba de bondad para ver el ajuste del modelo a los datos, y se hicieron gráficos de diagnóstico con la distancia de Cook para ver si existieron datos atípicos que influyeran en el coeficiente. Además, se realizaron gráficos de residuos para saber si existió o no homogeneidad de varianza. Todos los análisis se hicieron con el programa estadístico R versión 3.1.3 (R Development Core Team 2008).

Para evaluar que variables fueron las más importantes en predecir los sitios con mayor probabilidad de atropellos, se consideró la importancia relativa en cada set de los mejores comparando el peso relativo de las variables predictoras ($\omega + i$), el cual es la suma del peso Akaike para el predictor i , sumado a lo largo de todos los modelos en que el predictor i ocurre (Burnham y Anderson 2002). Por último, se generó un modelo nulo con una constante (intercepto 1) como variable independiente, para determinar si existió relación con las características evaluadas en los otros modelos o fue solo azar (Burnham y Anderson 2002).

RESULTADOS

De los 66 registros de oso hormiguero reportados en el proyecto de Fauna Silvestre en Carreteras de Costa Rica, se usaron 57 como datos verídicos, ya que se descartaron aquellos en donde la identificación de la especie o la exactitud de la georeferenciación no fueron confiables. El 90% de los atropellos ocurrieron en segmentos rectos de las carreteras, el 56% de las muertes ocurrieron en ecotonos y, el 98% de los reportes se hicieron en carreteras primarias, principalmente en la ruta 1 y la Ruta 34 a nivel del Parque Nacional Carara, en donde el flujo diario vehicular es uno de los más altos del país con 15,124 vehículos diarios en promedio.

El resumen de los promedios de las siete variables medidas en este estudio se encuentran en el Cuadro 7, tanto para los sitios con atropellos como para los puntos control. De forma general se puede evidenciar mayor porcentaje de cobertura boscosa, en los sitios con atropello, una menor distancia al bosque más cercano y a los ríos; una mayor distancia a poblados, menor porcentaje de tierras no forestales, mayor porcentaje de pastos y menor densidad de vías.

Observando las gráficas de correlación vemos que no existen valores por encima de 0.70 entre variables independientes, por lo tanto, se mantuvieron todas las variables en el proceso de selección de modelos.

De acuerdo a la prueba de bondad de ajuste, el modelo explicó el 80% de la variabilidad en los datos, mostrando un buen ajuste del modelo. Con respecto al diagnóstico del modelo, vemos que según los residuales de Pearson vs el leverage no hay puntos influyentes que alteren el coeficiente del modelo (figura 17), por lo tanto, no hubo necesidad de descartar datos.

Los gráficos de los residuos para cada variable dentro del mejor modelo, no muestran una información predictiva o patrón distintivo, lo cual es una buena indicación de que no tiene relaciones no lineales, y hay homogeneidad de varianza (Figura 18).

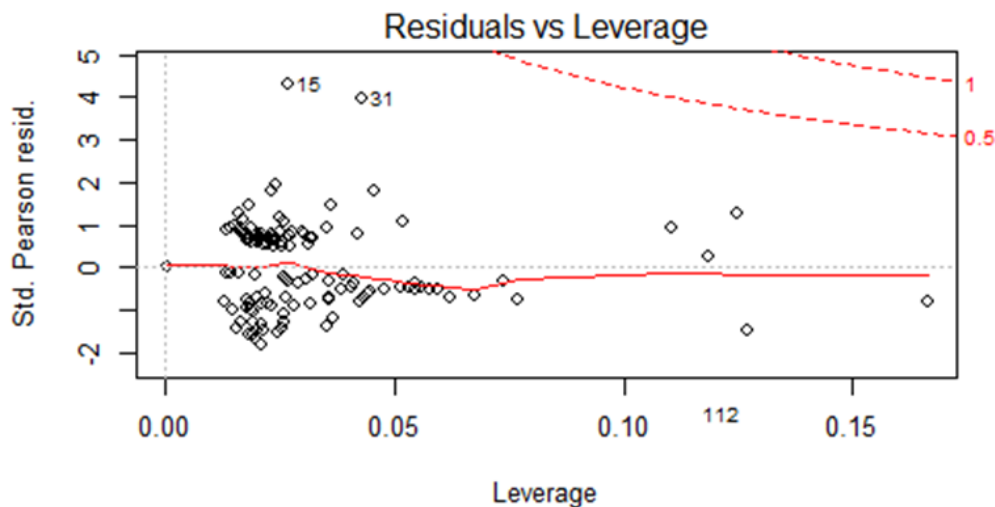


Figura 17. Gráfico para buscar puntos influyentes o datos atípicos en el modelo.

Los resultados de los modelos lineales generalizados para la probabilidad de atropello de oso hormiguero, se resumen en el Cuadro 8, en donde tres variables influyeron en la probabilidad de atropellos de esta especie; distancia al bosque más cercano, porcentaje de tierra no forestal, y distancia al poblado más cercano, según el mejor modelo. No obstante, y de acuerdo con el Delta AICc existen 13 modelos como candidatos plausibles, es por esto que se usó el promediado de modelos de todos los posibles modelos para observar la importancia relativa de cada predictor (Figura 19).

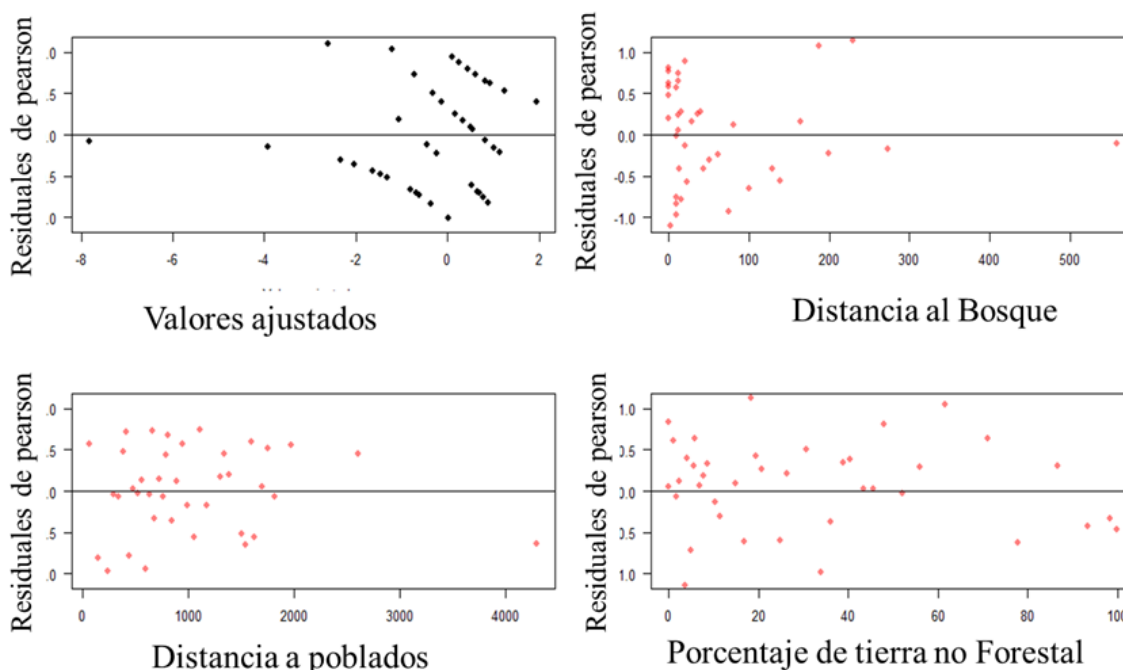


Figura 18. Gráfico de los residuos para cada variable dentro del mejor modelo.

Cuadro 7. Promedio e Intervalo de confianza de las variables medidas para los sitios con atropellos de osos hormiguero y los puntos de control.

Variable	Atropellos	IC 95%	Control	IC 95%
%Bosques	38.32	± 6.04	25.49	± 5.5
No_forestal	21.18	± 5.63	45.58	± 8.14
%Pastos	40.49	± 6.11	28.91	± 5.91
DisT_ríos	246.43	± 50.8	300.22	± 67.82
Dist_poblados	1221.31	± 240.23	867.31	± 148.54
Dens vías	1.70	± 0.29	1.88	± 0.3
Dist_bosque	27.82	± 11.98	97.02	± 32.96

Se puede observar que sitios con bosque más allá de los 100 metros aproximadamente, disminuye la probabilidad de atropello vertiginosamente (Figura 20). En ese mismo sentido vemos como tener un porcentaje de cobertura no forestal mayor al 20 % disminuye esta probabilidad, y vemos como la distancia a poblados después de 1000 metros de distancia, incrementa la probabilidad de atropello del oso hormiguero (Figura 20).

Cuadro 8. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de *T. mexicana* en las vías de Costa Rica.

Modelo	AICc	Pesos	Δ AICc
Atropellos ~ 1 + DistB + DistP + NF	165,0528	0,07857	0
Atropellos ~ 1 + DistB + NF	165,4097	0,06572	0,3569
Atropellos ~ 1 + DV + DistB + NF	165,8432	0,05292	0,7904
Atropellos ~ 1 + DV+ DistB + DistP + NF	166,302	0,04207	0,8923
Atropellos ~ 1 + DistB + NF + %Pastos + %Bosques	166,9004	0,03119	1,0572
Atropellos ~ 1 + DistB + NF + %Pastos	166,9004	0,03119	1,8476
Atropellos ~ 1 + DistB + NF + %Bosques	166,9004	0,03119	1,8476
Atropellos ~ 1 + DistB + %Pastos + %Bosques	166,9004	0,03119	1,8476
Atropellos ~ 1 + DistB + DistP + %Pastos + %Bosques	166,913	0,03099	1,8602
Atropellos ~ 1 + DistB + DistP + NF + %Pastos	166,913	0,03099	1,8602
Atropellos ~ 1 + DistB + DistP + NF + %Pastos + %Bosques	166,913	0,03099	1,8602
Atropellos ~ 1 + DistB + DistP + NF + %Bosques	166,913	0,03099	1,8602
Atropellos ~ 1 + DistB + DistP + DistR + NF	167,0273	0,02927	1,9745

DistB= Distancia al bosque más cercano; DistP= Distancia al poblado más cercano; NF= Porcentaje de tierra no forestal; DV= Densidad de vías por Km 2; %Pastos, Porcentaje de pastos; y Bosques, Porcentaje de bosques; DistR= Distancia al río más cercano.

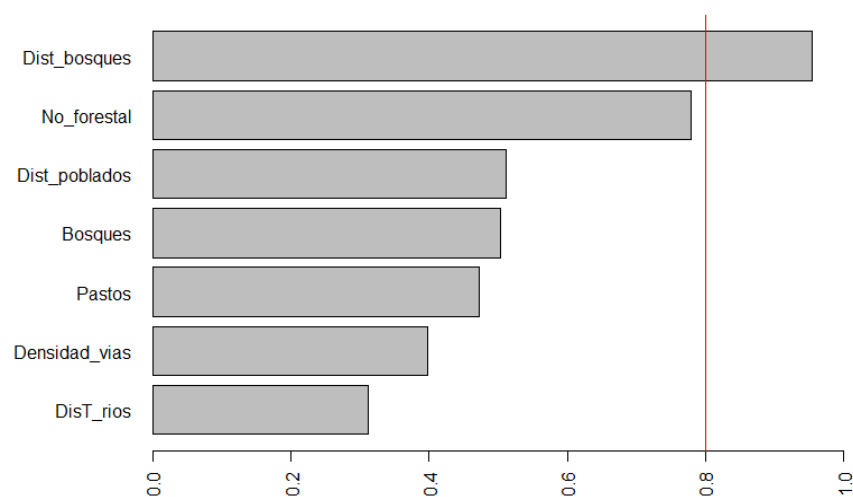


Figura 19. Promediado de modelos para detectar las variables más influyentes en los sitios de atropello de *Tamandua mexicana*.

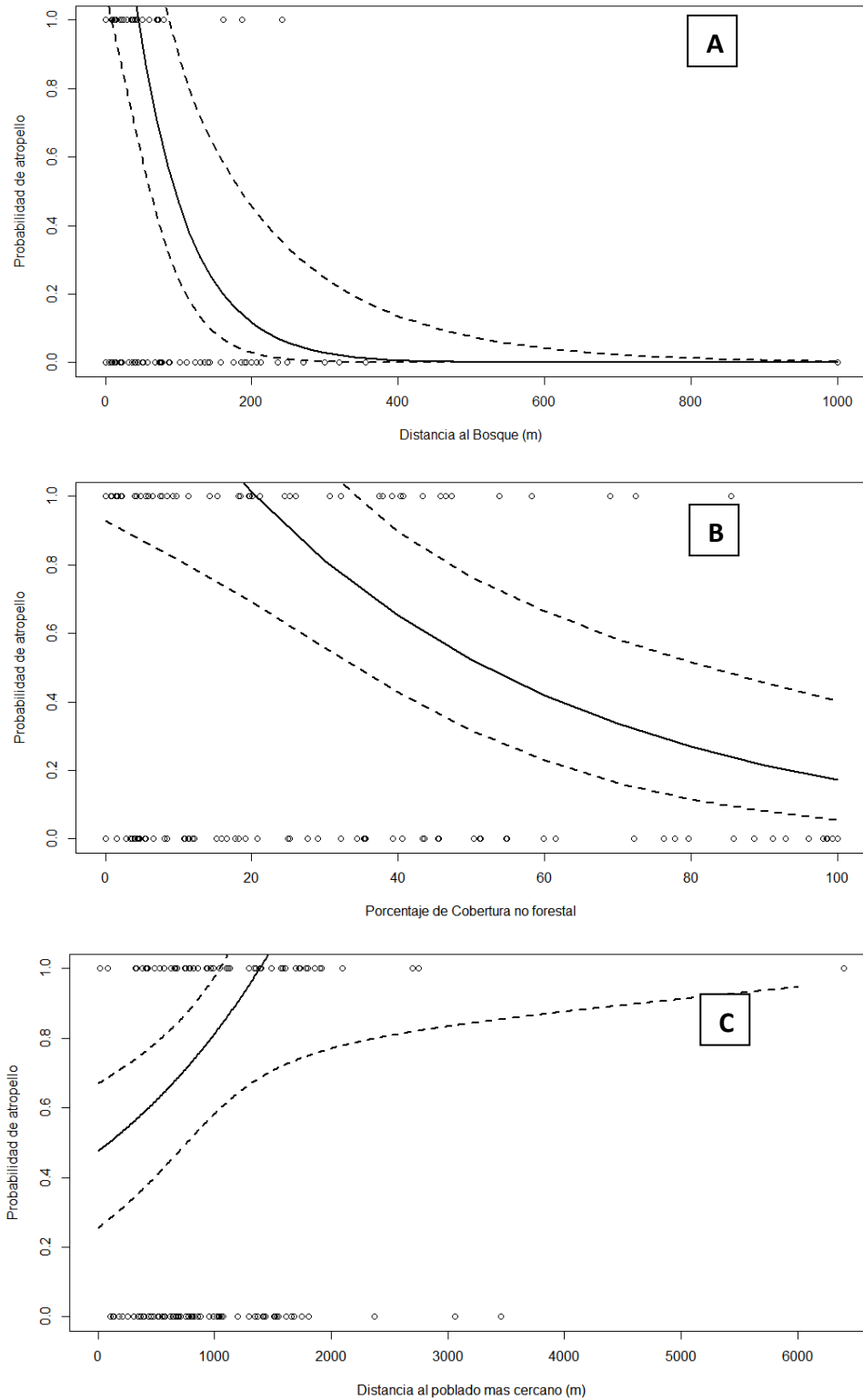


Figura 20. Efectos de las variables seleccionadas como importantes para la probabilidad de atropellos de oso hormiguero; **A**: efecto de la distancia al bosque; **B**: efecto del porcentaje de cobertura forestal; **C**: efecto de la distancia al poblado más cercano.

DISCUSIÓN

De manera general los resultados sugieren que ciertas características del paisaje influyeron en los incidentes de colisión del oso hormiguero con los automóviles. La mayoría de las carreteras en donde se reportaron los atropellos del oso hormiguero fueron en vías primarias y en segmentos de vía recta (98% y 90% respectivamente). Se ha evidenciado que las vías rectas con un mediano flujo vehicular por lo general permiten altas velocidades de los automóviles, por lo que contribuye a un incremento en la probabilidad de colisión con fauna ya que disminuye la capacidad de reacción y maniobrabilidad del conductor (Seiler 2005, de Freitas et al. 2015).

De acuerdo con los modelos, el porcentaje de cobertura boscosa en la matriz circundante, no fue tan relevante como la proximidad a los bosques, pues el promedio del porcentaje de bosques fue de menos de la mitad de la matriz (38%) pero mayor que en los puntos de control (26%). Aquí se encontró según los modelos que la cercanía a las carreteras de la cobertura boscosa densa influyó de manera significativa sobre la probabilidad de muertes por atropellamiento de esta especie. Esta característica se ha reportado como determinante para la colisión de otras especies de mamíferos en el mundo. En el cerrado Brasil, el oso palmero (*Myrmecophaga tridactyla*) fue mayormente atropellado en sitios con vegetación cercana a la carretera (de Freitas et al. 2015), de igual manera, el conejo americano (*Lepus americanus*) en la montañas rocosas de Canadá (Clevenger et al. 2003), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en Estados Unidos (Finder et al. 1999) y gran variedad de marsupiales en Australia (Ramp et al. 2006) por mencionar algunos.

La cobertura boscosa, principalmente bosques ribereños y cercas vivas, son usados como corredores biológicos por los animales a través del paisaje, y estos elementos están presentes cerca de muchas carreteras, lo cual genera una alta probabilidad de colisión vehículo-fauna silvestre (Gunson et al. 2011, Barthelmess 2014). Igualmente, la cobertura boscosa cerca de la carretera puede reducir la visibilidad de los conductores para ver la fauna silvestre en la carretera que al hacer sinergia con tramos rectos de las carreteras y, en donde se conduce a altas velocidades puede aumentar el riesgo de atropellamiento (Orlowski 2005, Barrientos y Bolonio 2009) .

De acuerdo a los resultados, la variable no forestal, la cual incluye tierras desnudas, sitios urbanizados y cultivos tienen una influencia negativa en la probabilidad de atropello. En otras palabras, a medida que aumenta el porcentaje de tierra no forestal disminuye la probabilidad de colisión. Contrario a la proximidad a bosques, al no haber cobertura densa en la cercanía a las carreteras, aumenta la visibilidad de los conductores y se disminuye la permeabilidad del paisaje, generando un efecto barrera, ya que al no haber un corredor disponible es menos probable que el oso hormiguero cruce la carretera. Esta especie rara vez usa áreas abiertas o de monocultivos no forestales, en donde se siente expuesta a depredadores y donde no hay recursos de alimento y resguardo o hábitat disponible para los mismos (Montgomery 1985).

Para los Alces en Suecia, las colisiones más frecuentes ocurrieron en carreteras que atraviesan bosques jóvenes, comparado con carreteras similares en áreas agrícolas (Seiler 2005). En Estados Unidos, el incremento en la variación de tipos de cobertura decrece las colisiones del Alce (Danks y Porter 2010). El oso hormiguero, al ser una especie semi-arbórcola requiere de cierto grado de cobertura boscosa para realizar su forrajeo diario pues gasta alrededor de un 40% de su tiempo consumiendo hormigas y termitas de los arboles (Eisenberg 1989, Navarrete y Ortega 2011).

La distancia a poblados fue un predictor influyente en los modelos de regresión logística, en donde hubo una mayor probabilidad de atropellos en sitios más alejados de áreas urbanas (Figura 20), teniendo 354 metros más de distancia con respecto a los puntos de control. Se ha reportado para muchas especies de ungulados y en algunas especies de pequeños mamíferos encuentros similares y no es de sorprender, ya que altos niveles de actividad humana y pérdida de hábitat reduce el uso del sector cercano a las vías en estos sitios (Bashore et al. 1985).

Las áreas urbanas se convierten en obstáculos para el oso hormiguero, que si bien tolera ambientes degradados como zonas agrícolas y áreas transformadas, no es común verlo en zonas urbanas como el zorro pelón (*Didelphis marsupialis*), pues su dieta es algo más especializada (Insectívoro estricto) (Navarrete y Ortega 2011). Esto evidencia, además, que segmentos de carretera como la que bordea Parque Nacional Carara tuviera una alta frecuencia de atropellos. Se ha reportado que esta especie es abundante en áreas naturales. Por ejemplo, en Rara Avis, una reserva privada que bordea el Braulio Carrillo el oso hormiguero fue reportado como abundante (Reid 1997).

En este estudio se evidenció como datos tomados con métodos no estandarizados y de forma oportunista, pueden ser usados con el tratamiento estadístico adecuado para hacer estudios ecológicos al nivel de inferencia, en donde no se requieren datos exactos de otras características como el peso, sexo, la edad, etc. Olson et al. (2014), mostraron como las nuevas tecnologías como los Smartphone mejoran la calidad de los datos tomados por proyectos de ciencia ciudadana, y le dan un grado de calidad suficiente para realizar estudios científicos. No obstante, para este proyecto, aumentar la cantidad de información cuando se toma el registro es esencial para hacer estudios con mayor robustez en las estimaciones. Paul et al. (2014), Compararon datos de ciencia ciudadana con datos tomados sistemáticamente, y encontraron que los datos tomados por los voluntarios eran lo suficientemente robustos y confiables para ser usados en la identificación de secciones de carretera que pueden necesitar medidas de mitigación. Además, un beneficio con este método (ciencia ciudadana), es que los datos obtenidos por este estudio no se hubiesen logrado con un muestreo estandarizado, ya que por lo general estos muestreos se realizan de forma temporal y en secciones de carretera específicos, subestimando muchas veces la cantidad de atropellos para ciertas especies y para este tipo de estudios (Saenz 2012, Arévalo-Huezo and Pomareda 2013, Artavia 2015).

Si bien este estudio presentó ciertas limitaciones en cuanto a la toma de variables específicas de la carretera, como ancho de la vía, topografía, velocidad de vehículos, entre otras, debido a la naturaleza de los datos (Ciencia Ciudadana), el análisis a escala de paisaje con modelos predictivos, es un trabajo comparable con estudios tradicionales (toma de datos sistematizados) en otros países (Clevenger et al. 2003, Malo et al. 2004, Seiler 2005, Bueno et al. 2013, Barthelmess 2014, de Freitas et al. 2015). Lo anterior, hace de este estudio pionero en esta metodología y lo convierte en un referente si se quiere llevar a otro nivel la ciencia ciudadana, para hacer inferencias ecológicas que permitan tomar medidas de mitigación acertadas para contrarrestar esta problemática sobre la fauna silvestre de Costa Rica.

CONCLUSIONES

El riesgo de colisión del oso hormiguero con vehículos en Costa Rica puede ser predicho con variables de paisaje tomadas de sensores remotos, y con datos de reportes confiables de los eventos de atropello. Aunque este tipo de colisiones ocurren en muchas de las vías de Costa Rica, el riesgo varía con las características de la carretera y los atributos de paisaje como se evidenció en este estudio. Por consiguiente, este trabajo sirve para prevenir colisiones futuras de la especie en otras vías con características similares.

Los resultados de este trabajo muestran que no se requiere que haya una cobertura boscosa considerable en el entorno circundante, si no que el bosque este cercano a las vías y de alguna manera funcione como corredor además sitios alejados de poblaciones grandes y sitios con poca cobertura no forestal. Esto es relevante pues se observa como los animales usan los pequeños fragmentos de bosques o líneas de bosque ribereños para desplazarse, así se debería mejorar esa conectividad disminuyendo la barrera de las vías.

Las vías rectas se convierten en un factor importante en el aumento de la probabilidad de atropello del oso hormiguero, porque estas se asocian a altas velocidades, lo cual disminuye la capacidad de reacción y maniobrabilidad de los conductores.

RECOMENDACIONES

Promover el uso de ciencia ciudadana para otras especies o grupos de especies silvestres es recomendable puesto que este estudio ha demostrado que el método sirve y arroja resultados similares a estudios convencionales, con protocolos establecidos a un costo mínimo.

De acuerdo a los modelos, proponer medidas de mitigación en carreteras con cercanía de bosques, alejadas de poblados, y con bajo porcentaje de cobertura no forestal, ayudaría a disminuir el atropellamiento del oso hormiguero

La distancia al bosque más cercano resulto ser un factor importante en el atropello del oso hormiguero algo que se ha relacionado con la poca visibilidad del conductor al momento de encontrarse con un animal en la carretera. Aumentar la visibilidad del conductor disminuyendo la cobertura pegada a la carretera, principalmente en secciones de carretera recta disminuiría el riesgo de atropellos en estos sitios.

LITERATURA CITADA

- Andrews, K. M., y J. W. Gibbons. 2005. How do highway influence snake movement? Behavioral responses to roads and vehicles. *Copeia* 4:772–782.
- Arce, E., A. Arévalos, y W. Honda. 2012. Mortalidad de vertebrados en el límite sur oeste del Parque Nacional Carara, Costa Rica. *Mesoamericana* 16:116.
- Arévalo-Huezo, E., y E. Pomareda. 2013. El impacto de la carretera interamericana norte sector Cañas-Liberia en la mortalidad de fauna silvestre antes y durante la ampliación a cuatro carriles. Resultados preliminares. Guanacaste, Costa Rica. Page 8 in. I Simposio Ecología de Caminos. Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- Artavia, A., M. Jiménez, A. Martínez Salinas, E. Pomareda, D. Araya Gamboa, y E. Arévalo Huezo. 2015. Registro de mamíferos silvestres en la sección de la ampliación de la Ruta 32, Limón, Costa Rica. *Brenesia* 83–84:37–46.
- Artavia, R. 2015. Identificación y caracterización de cruces de fauna silvestre en la sección de la ampliación de la carretera nacional Ruta 32, Limón, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Bager, A., T. de R. Cardoso, y C. Grilo. 2014. The influence of spatial units to identify factors explaining wildlife vehicle collisions. Page 57 in A. Seiler, editor. *Infra Eco Network Europe*. IENE, Malmo, Swenden.
- Bager, A., y L. John. 2014. *Dê passagem para a vida*. centro Brasileiro de estudos em ecologia de estradas.
<http://cbee.ufla.br/portal/imgs/imagesCMS/publicacao/pdf/31.pdf>
- Barrientos, R., y L. Bolonio. 2009. The presence of rabbits adjacent to roads increases polecat road mortality. *Biodiversity and Conservation* 18:405–418.
<<http://dx.doi.org/10.1007/s10531-008-9499-9>>.
- Barthelmeß, E. L. 2014. Spatial distribution of road-kills and factors influencing road mortality for mammals in Northern New York State. *Biodiversity and Conservation* 23:2491–2514.

- Bashore, T. L., M. W. Tzilkowski, y E. Bellis. 1985. Analysis of Deer-Vehicle Collision Sites in Pennsylvania. *The Journal of Wildlife Management* 49:769–774.
- Bolaños, R., V. Watson, y J. Tosi. 2005. Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida), según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge) Escala 1:750 000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Brown, D. D., R. A. Montgomery, J. J. Millspaugh, P. A. Jansen, C. X. Garzon-Lopez, y R. Kays. 2014. Selection and spatial arrangement of rest sites within northern tamandua home ranges. *Journal of Zoology* 293:160–170.
- Bueno, C., M. T. Faustino, y S. R. Freitas. 2013. Influence of landscape characteristics on capybara road-kill on highway br-040, Southeastern Brazil. *Oecologia Australis* 17:130–137.
- Burnham, K., y D. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information. Theoretic approach. Springer New York.
- Calcagno, V. y de Mazancourt, C. 2010. glmulti: an R package for easy automated model selection with (generalized) linear models. *Journal of Statistical Software*, 34, 1–29.
- Catzeflis, R., y Benoit de Thoisy. 2012. Xenarthrans in French Guiana: A Brief Overview of Their Distribution and Conservation Status. IUCN/SSC Anteater, Sloth and Armadillo Specialist Group 13:29–37.
- CBEE. 2014. Sistema URUBU, Centro Brasileiro da Estudos em Ecologia da Estradas. <http://cbee.ufla.br/portal/sistema_urubu/urubu-info.php>.
- Clevenger, A. P., B. Chruszcz, y K. Gunson. 2003. spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation* 109:15–26.
- Clevenger, A., y M. Huijser. 2011. Wildlife crossing structure handbook, Design and evaluation in North America. Technical report No. FHWA-CFL/TD-11-003.
- Clevenger, A. P., y N. Waltho. 2000. Factors Influencing the Effectiveness of Wildlife Underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology* 14:47–56. Blackwell Science Inc. <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.00099-085.x>>.

- Conover, M. R., W. C. Pitt, K. K. Kessler, T. J. DuBow, y W. A. Sanborn. 1995. Review of human injuries, illness, and economic losses caused by wildlife in the United States. *Wildlife Society Bulletin* 23:407–414.
- Danks, Z. D., y W. F. Porter. 2010. Temporal, spatial, and landscape habitat characteristics of moose–vehicle collisions in western Maine. *Journal of Wildlife Management* 74:1229–1241. <<http://www.bioone.org/doi/abs/10.2193/2008-358>>.
- Devictor, V., R. J. Whittaker, y C. Beltrame. 2010. Beyond scarcity: citizen science programmes as useful tools for conservation biogeography. *Diversity and Distributions* 16:354–362.
- Dickinson, J. L., B. Zuckerberg, y D. N. Bonter. 2010. Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41.
- Eisenberg, J. F. 1989. *Mammals of the Neotropics. Volume 1. The Northern Neotropics.* University of Chicago Press.
<http://journals.cambridge.org/abstract_S0266467400004521>.
- ESRI, 2014. *ArcGIS e A Complete Integrated System.* Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California. <http://esri.com/arcgis>.
- Finder, R., J. Roseberry, y A. Woolf. 1999. Site and landscape conditions at white-tailed deer/vehicle collision locations in Illinois. *Landscape and Urban Planning* 44:77–85.
- de Freitas, C. H., C. S. Justino, y E. Z. F. Setz. 2015. Road-kills of the giant anteater in south-eastern Brazil: 10 years monitoring spatial and temporal determinants. *Wildlife Research* 41:673–680. CSIRO Publishing.
- Gómez, L. D. 1986. Vegetación de Costa Rica, apuntes para una biogeografía costarricense. Page 323 in L. D. Gómez y W. Herrera, editors. *Vegetación y Clima de Costa Rica.* primera. UNED, San Jose, Costa Rica.
- Gunson, K. E., G. Mountrakis, y L. J. Quackenbush. 2011. Spatial wildlife-vehicle collision models: a review of current work and its application to transportation mitigation projects. *Journal of environmental management* 92:1074–82.

- <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710004305>>. Accessed 30 May 2015.
- ITEC, 2014. Atlas Costa Rica 2014. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica – ITCR- CD.
- Lee, T., M. S. Quinn, y D. Duke. 2006. Citizen, Science, Highways, and Wildlife: Using a Web-based GIS to Engage Citizens in Collecting Wildlife Information. *Ecology and Society* 11:11.
- Malo, J. E., F. Suárez, y A. Díez. 2004. Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology* 41:701–710. Blackwell Science Ltd. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00929.x>>.
- Manly, B. F. J., L. L. McDonald, D. L. Thomas, T. L. McDonald, y W. P. Erickson. 2002. Resource Selection by Animals, Statistical Design and Analysis for Field Studies. Second. Springer Netherlands.
- Monge-Nájera, J. 1996. Vertebrate mortality on tropical highways: the Costa Rican case. *Vida Silvestre. Vida Silvestre Neotropical* 5.
- Montgomery, G. G. 1985. Movements, foraging and food habits of the four extant species of Neotropical vermilinguas (Mammalia; Myrmecophagidae). Pages 365–377 in G. G. Montgomery, editor. *The evolution and ecology of armadillos, sloths, and vermilinguas*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- MOPT, M. de O. P. y T. 2011. Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. Costa Rica.
- Navarrete, D., y J. Ortega. 2011. *Tamandua mexicana*. *Mammalian Species* 43:56–63.
- Olson, D. D., J. A. Bissonette, P. C. Cramer, A. D. Green, S. T. Davis, P. J. Jackson, y D. C. Coster. 2014. Monitoring Wildlife-Vehicle Collisions in the Information Age: How Smartphones Can Improve Data Collection. *PLOS ONE* 9:e98613. Public Library of Science. <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0098613>>.
- Orlowski, G. 2005. Factors Affecting Road Mortality of the Barn Swallows *Hirundo rustica* in Farmland. *Acta Ornithologica* 40:117–125. Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences. <<http://dx.doi.org/10.3161/068.040.0207>>.

- Ortega Reyes, J., D. G. Tirira, M. Arteaga, y F. Miranda. 2014. *Tamandua mexicana*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2. <<http://www.iucnredlist.org>>. Downloaded on 06 July 2015.>.
- Paul, K., M. S. Quinn, M. P. Huijser, J. Graham, y L. Broberg. 2014. An evaluation of a citizen science data collection program for recording wildlife observations along a highway. *Journal of Environmental Management* 139:180–187. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971400108X>>.
- R Development Core Team. 2008. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <<http://www.rproject.org>>.
- Ramp, D., V. Wilson, y D. Croft. 2006. Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 129:348–359.
- Reid, F. a. 1997. A field guide to the mammals of Central America and southeast Mexico. Oxford University Press, New York.
- Sáenz, J. 2012. Mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento en la carretera interamericana Área Conservación Guanacaste y determinación pasos de fauna. <<http://es.slideshare.net/roseamena/2-joel-saenz-acg>>. Accessed 5 Aug 2014.
- Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42:371–382. <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2664.2005.01013.x>>. Accessed 25 Feb 2015.
- Shilling, F. M., y D. P. Waetjen. 2015. Wildlife-vehicle collision hotspots at US highway extents: scale and data source effects. *Nature Conservation* 11:41–60. Pensoft Publishers. <<https://doi.org/10.3897/natureconservation.11.4438>>.
- SIREFOR (Sistema de Información de Recursos Forestales). 2014. Mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2013. San José, Costa Rica.
- Spellerberg, I. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography* 7:317–333. Blackwell Science Ltd.

Stout, R. J., R. C. Stedman, D. J. Decker, y B. A. Knuth. 1993. Perceptions of risk from deer-related vehicle accidents: implications for public preferences for deer herd size. *Wildlife Society Bulletin* 21:237–249.

Vercayie, D., y M. Herremans. 2015. Citizen science and smartphones take roadkill monitoring to the next level. *Nature Conservation* 11:29–40. Pensoft Publishers. <<https://doi.org/10.3897/natureconservation.11.4439>>.