

Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina

V. Bauni^{1,*}, J. Anfuso^{1,2}, F. Schivo³

(1) Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Universidad Maimónides, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

(2) Refugio de animales silvestres Güira Oga, Misiones, Argentina.

(3) Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín, San Martín.

* Autor de correspondencia: V. Bauni [valeria.bauni@fundacionazara.org.ar]

> Recibido el 07 de marzo de 2017 - Aceptado el 13 de julio de 2017

Bauni, V., Anfuso, J., Schivo, F. 2017. Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina. *Ecosistemas* 26(3): 54-66. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-3.08

La expansión de las redes de transporte es una de las mayores amenazas a la biodiversidad, provocando, entre otras cosas, un aumento en el riesgo de mortalidad por accidentes para la fauna. El objetivo del presente trabajo es evaluar los atropellamientos ocurridos entre los años 2012 y 2016 en un tramo de 34 km sobre la ruta Nacional N°12, en el bosque atlántico del Alto Paraná (Argentina). Este tramo atraviesa varias reservas naturales y soporta un flujo turístico masivo. Se comparó el número de atropellamientos entre estaciones del año, tipo de cobertura vegetal y presencia de áreas protegidas, utilizando modelos lineales generalizados mixtos. Se mapeó la distribución de los accidentes para identificar sitios críticos. Durante los 47 meses del estudio, detectamos 1784 ejemplares atropellados: 67.5% mamíferos, 25.2% aves y 7.3% reptiles. La especie con más accidentes registrados fue la comadreja overa (*Didelphis albiventris*), seguida del lagarto overo (*Tupinambis merianae*) y el alicuco común (*Megascops choliba*). Solamente los reptiles mostraron diferencias significativas en los atropellamientos por estación. El 72.6% de los accidentes ocurrieron en zonas con presencia de bosque nativo. A su vez, el 70.7% de los accidentes ocurrió dentro de áreas protegidas. Se identificaron 13 kilómetros críticos donde se propone la aplicación de medidas, como la colocación de reductores de velocidad y la adecuación de estructuras de desagüe de arroyos como pasafauas subfluviales. Una vez implementadas las medidas propuestas, debería evaluarse su efectividad a largo plazo.

Palabras clave: accidentes de tráfico; aves; mamíferos; Parque Nacional Iguazú; provincia de Misiones; reptiles

Bauni, V., Anfuso, J., Schivo, F. 2017. Wildlife roadkill mortality in the Upper Paraná Atlantic forest, Argentina. *Ecosistemas* 26(3): 54-66. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-3.08

The expansion of transport networks is one of the greatest threats to biodiversity, leading, among other things, to increasing risk of wildlife mortality from accidents. The objective of the present study is to evaluate the roadkills that occurred between 2012 and 2016 in a 34 km segment along the National Route No. 12 in the Upper Paraná Atlantic forest (Argentina). This segment crosses several natural reserves and supports massive touristic flow. The number of road accidents was compared between seasons of the year, type of vegetation and presence of protected areas, using mixed generalized linear models. We mapped the distribution of accidents to identify critical sites. During the 47 months surveyed, we observed 1784 roadkills: 67.5% mammals, 25.2% birds and 7.3% reptiles. The species with the greatest number of recorded accidents was the white-eared opossum (*Didelphis albiventris*), followed by the black-and-white tegu (*Tupinambis merianae*) and the tropical screech owl (*Megascops choliba*). Only the reptiles showed significant differences in roadkills between seasons. 72.6% of the accidents occurred in areas with presence of native forest. 70.7% of accidents occurred within protected areas. We identified 13 critical kilometers where the application of measures such as the placement of speed reducers and the adequacy of drainage structures of streams as underpasses are proposed. Once the proposed measures have been implemented, their long-term effectiveness should be evaluated.

Key words: birds; Iguazú National Park; mammals; Misiones rainforest; reptiles; roadkills

Introducción

El mantenimiento de la conectividad entre los hábitats para la fauna es uno de los principales esfuerzos que se realizan en conservación. Sin embargo, las barreras establecidas por los caminos y rutas representan un impedimento significativo para el desplazamiento de la fauna silvestre (Heilman et al. 2002; Cleverger y Huijser 2011; van der Grift et al. 2013; De La Ossa y Galván-Guevara 2015; Ibisch et al. 2016), afectando el flujo entre distintas poblaciones, en algunos casos aislándolas (Taylor y Goldingay 2010; Cuyckens et al. 2016). Así, la expansión de las redes de transporte es una de las mayores amenazas a la biodiversidad en regiones tropicales (Teixeira et al. 2013; Cuyckens et al. 2016). De hecho, al-

gunos autores consideran que es la causa de mortalidad no natural más importante para algunos vertebrados (Forman y Alexander 1998; Teixeira et al. 2013).

Las rutas y el tráfico son una fuente tan importante de mortalidad de fauna debido a que atraviesan sus rutas migratorias y áreas de campeo, interfiriendo en su libre desplazamiento (Harris y Scheck 1991; Coffin 2007; Bager y Rosa 2010; Cramer et al. 2015). Al cruzar los caminos, muchas especies resultan atropelladas (Coffin 2007), y sus cadáveres se transforman en alimento para especies carroñeras, que también resultan atropelladas (Arroyabe et al. 2006; Bager y Rosa 2010; De La Ossa y Galván-Guevara 2015; Monroy 2015; Cuyckens et al. 2016). El atropellamiento de los animales se relaciona con distintos factores, tanto extrínsecos, por

ejemplo, el tipo de vegetación o las condiciones climáticas (Seo et al. 2013; Garriga et al. 2017) como intrínsecas, por ejemplo, el grupo taxonómico, la abundancia o el comportamiento de las especies (Seiler 2005; Arroyabe et al. 2006; Seijas et al. 2013).

La fauna silvestre tiende a estar asociada a hábitats específicos, por lo que es de esperar que este factor influya en la abundancia y distribución de los atropellamientos (Clevenger et al. 2003; D'Amico et al. 2015). Las rutas que discurren por espacios naturales protegidos incrementan su efecto sobre las poblaciones de vertebrados debido a la mayor diversidad y densidad de animales allí existentes (Rico-Guzmán et al. 2012). Fuera de estas áreas, la fragmentación y los cambios en la calidad del hábitat como consecuencia de las actividades antrópicas (Santos y Tellería 2006) promueven la dispersión de los animales en búsqueda de estos hábitats, aumentando la posibilidad de ser atropellados (Carvalho y Mira 2011).

La composición y abundancia de los atropellamientos pueden presentar cambios a lo largo del año dado que ciertos patrones de conducta, como cortejo, migraciones, reproducción, apareamiento, disponibilidad de recursos y abundancia de especies están asociados con cambios estacionales (Arroyabe et al. 2006; De La Ossa y Galván-Guevara 2015; Cuyckens et al. 2016). Sin embargo no hay un patrón temporal único (Taylor y Goldingay 2010). Existen diversos trabajos donde se encontró una relación entre el número de animales atropellados y la estación del año (Prado et al. 2006; Melo y Santos-Filho 2007; Turci y Bernarde 2009; da Rosa y Bage 2012; De La Ossa y De La Ossa 2013; de Freitas et al. 2015; Cuyckens et al. 2016; Orlandin et al. 2015, entre otros) y trabajos donde este factor no tuvo influencia (Gumier-Costa y Sperber 2009; da Silva Oliveira y da Silva 2012; Monroy et al. 2015, entre otros).

Tampoco se puede concluir que un grupo taxonómico sea en particular más susceptible de ser atropellado, y es posible que esto dependa de otros factores intrínsecos (Arroyabe et al. 2006). En algunos estudios los mamíferos resultaron ser los más atropellados (e.g. Clevenger et al. 2003; Rosa y Mauhs 2004; Coelho et al. 2008; Melo y Santos-Filho 2007; da Cunha et al. 2010; da Silva Oliveira y da Silva 2012; Cuyckens et al. 2016), mientras que en otros las aves (Prado et al. 2006; De La Ossa y Galván-Guevara 2015) y algunos menos los anfibios o reptiles (Turci y Bernarde 2009; De La Ossa y De La Ossa 2013; Monroy et al. 2015).

Diversos trabajos llevados a cabo en Sudamérica, Europa y Estados Unidos, muestran cifras preocupantes del número de animales atropellados (Aresco 2005; Rosa y Mahus 2004; Gumier y Sperber 2009; Carvalho y Mira 2011; D'Amico et al. 2015; De La Ossa y Galván-Guevara 2015; Monroy et al. 2015) y el problema que esto representa, en particular, para las especies que se encuentran amenazadas.

El bosque atlántico del Alto Paraná ocupa la tercera parte de la provincia de Misiones, donde se localiza principalmente en el extremo noreste. A pesar de su estado altamente fragmentado, el bosque atlántico de Sudamérica es aún uno de los ecosistemas más diversos de la tierra, ya que contiene el 7% de las especies del mundo (Placi et al. 2005; De Angelo 2009). Dado su alto valor natural, Misiones es una provincia con un flujo turístico masivo (notablemente visible en el Parque Nacional Iguazú), lo que obliga a tratar el problema de los atropellamientos a efectos de minimizar el impacto de las rutas sobre la fauna nativa (Nigro y Lodeiro Ocampo 2009). Es necesario implementar medidas de mitigación, pero las mismas sólo pueden ser llevadas a cabo de manera efectiva cuando están basadas en estudios detallados que determinen, entre otras cosas: la periodicidad, la distribución espacial, las especies más afectadas y su relación con las características del paisaje a lo largo del cual la ruta transcurre (Seijas et al. 2013).

El objetivo del presente estudio consiste en evaluar el atropellamiento de fauna silvestre (en particular, de animales vertebrados) ocasionado por los vehículos que circulan por la Ruta Nacional N°12, entre el lago Uruguá y la ciudad de Puerto Iguazú, en la provincia de Misiones. A la vez, se proponen las posibles medidas de mitigación que deberían ser implementadas para reducir el atropellamiento de fauna silvestre.

Metodología

Área de estudio

La provincia de Misiones ocupa una superficie de 29 000 km² en el extremo NE de la Argentina. El departamento de Iguazú, localizado en el extremo NO, posee una superficie de 2657 km², ocupando un 9.3% de la provincia. Su cabecera es la localidad de Puerto Esperanza. Al norte limita con el Río Iguazú y al oeste con el Río Paraná. El clima es subtropical sin estación seca, con una temperatura promedio de 25.7°C en febrero y 14.6°C en julio. Las precipitaciones oscilan alrededor de los 1800 mm anuales. La humedad relativa media anual varía entre el 75% y el 90%.

La Ruta Nacional (RN) N° 12 une las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos con la de Buenos Aires, recorriendo la margen argentina del Río Paraná. En el Departamento de Iguazú comunica las localidades de Puerto Esperanza, Colonia Wanda, Puerto Libertad y Puerto Iguazú. Se encuentra asfaltada en su totalidad, y junto con la RN N°14, poseen importancia comercial, ya que es clave en la conexión de los países del MERCOSUR (Mercado Común del Sur). La ruta se desarrolla sobre un relieve curvo con pequeñas ondulaciones. Tres áreas naturales protegidas atraviesan la ruta: el Paisaje Protegido (PP) Uruguá en la zona sur, y el Parque Provincial (PP) Puerto Península y el Parque Nacional (PN) Iguazú al norte. Esta ruta conecta con la RN N°101, que permite el acceso al PN Iguazú, a 17 kilómetros de distancia de Puerto Iguazú. Este parque recibe un promedio de un millón visitantes por año, siendo el área protegida con mayor cantidad de visitantes en la Argentina (IPEC 2012).

El presente trabajo fue realizado en el tramo de la Ruta Nacional N° 12 comprendido entre el kilómetro 1603, en el embalse Uruguá (25°53'17.58"S, 54°33'40.46"O) y el 1637 (25°37'18.13"S, 54°33'7.96"O), en el ingreso a la ciudad de Puerto Iguazú (longitud total: 34 km; Fig. 1). A lo largo de este tramo, la ruta atraviesa ambientes forestales de especies exóticas (áreas no protegidas) y nativas (áreas en su mayoría protegidas). El tramo de estudio posee dos puestos de gendarmería que realizan controles vehiculares las 24 hs. La velocidad máxima permitida varía entre 60 y 80 km/h y corresponde a una ruta de simple vía (ancho de 6.50 metros). Dada la cantidad de accidentes de fauna silvestre registrados, en el año 2012 se inició una campaña de prevención de atropellamientos dentro de las áreas protegidas denominada "Cuidado animal". La misma consistió en colocación de cartelería sobre la ruta acerca de la presencia y cruce de fauna, así como la difusión de la problemática a través de folletos y en distintos medios de comunicación locales.

Recopilación y análisis de datos

El tramo de estudio se recorrió en vehículo dos veces al día, por un período de 47 meses, entre septiembre de 2012 y agosto de 2016 (excluyendo diciembre de 2013). La velocidad se mantuvo constante a 60 km/h a lo largo del recorrido y el observador fue siempre el mismo. A su vez se contabilizaron los registros realizados por personal del Refugio de animales silvestres "Güira Oga", Guardaparques Provinciales y Nacionales, Gendarmería Nacional y personal de Forestal Arauco durante sus tareas diarias, en el mismo período de tiempo. No fueron registrados micro-mamíferos o anfibios, ya que su detectabilidad es casi nula desde un vehículo (Texeira et al. 2013). Para cada animal atropellado, se registró: especie, estado en que se encontró (vivo o muerto), localización (mediante GPS y el kilometraje de la ruta) y estado de conservación nacional (Ojeda et al. 2012 para mamíferos, López-Lanús et al. 2008 para aves y Abdala et al. 2012 para reptiles). Los animales atropellados que aún estaban vivos fueron derivados para su rehabilitación a Güira Oga. Allí se brinda atención veterinaria a los animales de la selva misionera provenientes del tráfico de fauna, atropellados, heridos por cazadores furtivos o entregados voluntariamente por la población.

La tasa de atropellamiento por grupo taxonómico se calculó teniendo en cuenta los individuos atropellados registrados, los días

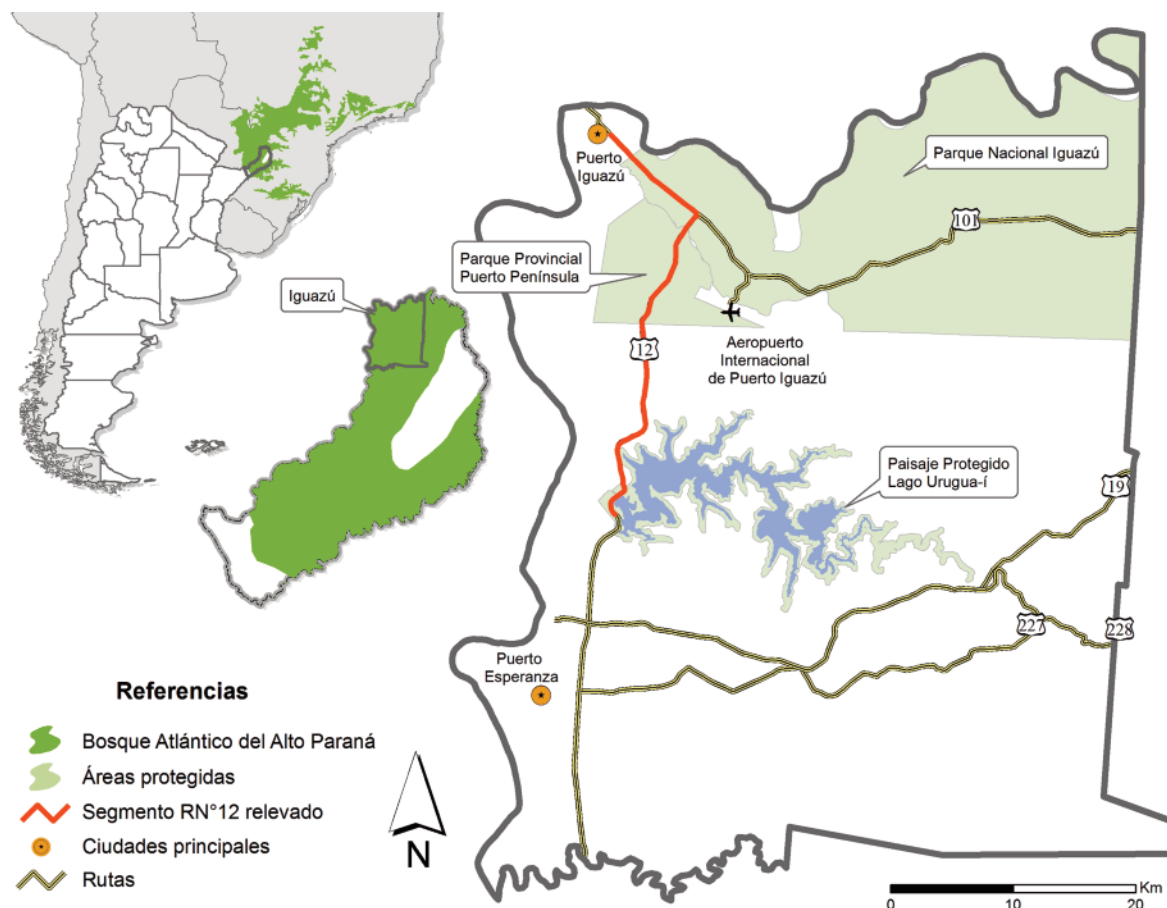


Figura 1. Localización del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.

relevados (1430) y la longitud de la ruta (34 km) (Seijas et al. 2013; Monroy 2015). El valor así obtenido (individuos atropellados por km por día) permite comparar los atropellamientos del presente estudio con otras regiones.

Para determinar la distribución espacial de los atropellamientos, la ruta fue dividida en 35 subtramos de 1 km de longitud, asignando cada animal atropellado al subtramo correspondiente (Seijas et al. 2013). El 2.1% (N=38) de los registros no contaban con información de localización exacta, por lo que no fueron utilizados en los análisis espaciales.

Se elaboraron curvas de rarefacción para los tres grupos estudiados. Estas curvas representan el incremento en el número de especies al aumentar el esfuerzo de muestreo y, en este caso, informan sobre la medida en que las especies presentes en el área estudiada están representadas entre los animales atropellados encontrados (Seijas et al. 2013). Para los análisis estadísticos se usó el programa EstimateS versión 9.1 (Colwell 2013).

Para cada subtramo se calculó el tipo y porcentaje de cobertura y uso del suelo en un buffer de 100 metros alrededor de la ruta utilizando las categorías identificadas por el INTA (2009) en el área de estudio: bosque nativo (BN), forestaciones de especies exóticas (FE) y áreas urbanas (UR) y el porcentaje del subtramo cubierto por áreas protegidas dentro del mismo buffer. Se asignó a cada subtramo la categoría dominante.

Mediante modelos lineales generalizados mixtos (GLMM por sus siglas en inglés), analizamos la influencia de la estación, el tipo de cobertura y la presencia de áreas protegidas sobre el número de individuos y especies atropelladas por subtramo. A su vez se consideraron las especies amenazadas por separado. Este análisis se realizó por separado para cada grupo taxonómico (aves, mamíferos, reptiles) y para el total. Se encontró una fuerte correlación positiva entre el número de especies y el número de individuos atro-

pellados (Coeficiente de correlación de Pearson ≥ 0.88 , $p < 0.0001$) y entre el número de especies amenazadas total y el número de especies amenazadas de mamíferos (Coeficiente de correlación de Pearson = 0.99, $p < 0.0001$). Por lo tanto, se trabajó con el número de especies atropelladas y el número de especies de mamíferos amenazadas como variables.

En un principio se utilizó una distribución de Poisson (modelos log-lineales), pero dado que el análisis de los residuos mostró que los datos presentaban sobredispersión, se corrigió el análisis mediante un ajuste a quasipoisson (Zuur et al. 2007). Los modelos completos consideraron como efectos fijos la cobertura, estación del año, presencia de áreas protegidas y sus interacciones y fue evaluada la significancia de cada término. Dado que los subtramos son contiguos, éstos fueron incluidos como efecto aleatorio dentro de los modelos para evitar un sesgo hacia la pseudoreplicación (Gumier-Costa y Sperber 2009). A su vez la presencia de bosque nativo y de áreas protegidas se encuentran fuertemente correlacionadas (más del 85% de los bosques nativos se encuentran protegidos) por lo que se conservó como variable el tipo de cobertura. Los análisis fueron realizados utilizando el programa R (R Development Core Team 2015) e Infostat (Di Rienzo et al. 2017). Se utilizó la función glmer del paquete lme4 (Bates et al. 2014) y las comparaciones múltiples se realizaron mediante la aplicación del procedimiento DGC (Di Rienzo et al. 2002).

También se calculó el porcentaje de individuos que mueren producto del atropellamiento y la supervivencia de los animales objeto de rehabilitación.

Se calculó el número total de especies atropelladas y, en particular, amenazadas por subtramo. Estos resultados se digitalizaron con el software ArcGIS 10.3 (ESRI 2015) y se identificaron como críticos los dos segmentos de máximo valor. A su vez se calculó la tasa de atropellamiento por subtramo para evaluar sitios con desviaciones por encima de la media.

Resultados

En total se registraron 1784 ejemplares atropellados, lo cual significa una tasa mínima de atropellamiento de 0.037 ind./km²/día. Entre los animales atropellados predominaron los mamíferos, con un 67.5% de los accidentes y una tasa mínima de atropellamiento de 0.025 ind./km²/día (**Tabla 1**).

En total se observaron atropelladas 30 especies de mamíferos, 71 de aves y tres de reptiles (**Apéndice 1**). La especie con mayor cantidad de accidentes fue la comadreja overa (*Didelphis albiventris*; 8.7%), seguida del lagarto overo (*Tupinambis merianae*; 7.2%) y el alicucú común (*Megascops choliba*; 5.1%). Las curvas de rarefacción de especies (**Apéndice 2**) tendieron a una asíntota en el caso de los mamíferos y las aves, pero no para los reptiles, que mostró una tendencia ascendente. Ninguna de las tres curvas logró estabilizarse.

De los mamíferos, didélidos y carnívoros resultaron los órdenes más representados (72%). De las especies de mamíferos atropelladas, el 60% se encuentra bajo alguna categoría de amenaza: 3.3% en "peligro crítico", 30% "vulnerable" y 26.7% "cercano a la amenaza" (**Apéndice 1**). Entre los mamíferos, destacan los atropellamientos del oso melero (*Tamandua tetradactyla*; 6.5% de los mamíferos registrados) y del coendú (*Sphigurus spinosus*; 6% de los mamíferos registrados), ambas amenazadas. De las aves, los órdenes más representados fueron passeriformes (33%) y piciformes (13%). Un 7.2% de las aves atropelladas presentan algún grado de amenaza: el 4.3% bajo la categoría "amenazada" y el 2.9% en estado "vulnerable" (**Apéndice 1**). El lechuzón negruzco (*Asio Stygius*) resultó ser la especie amenazada más atropellada (2.2% de las aves registradas). De las tres especies de reptiles atropelladas, la ñacaniná-hu (*Spilotes pullatus*), del orden colubridae se encuentra en estado "vulnerable" (**Apéndice 1**).

Para los mamíferos se encontró un efecto significativo de la cobertura, siendo el bosque nativo donde se dio el mayor número de especies atropelladas ($\chi^2=9.28$, gl: 2, $p=0.01$) (**Fig. 2A**; **Tabla 2**). Para el número de especies de aves atropelladas se observó que existe interacción entre la estación del año y el tipo de cobertura ($\chi^2=12.44$, gl: 6, $p<0.005$). Se encontraron diferencias significativas en el otoño e invierno, siendo mayor la cantidad de atropellamientos en zonas con bosque nativo y en zonas urbanas en invierno (**Fig. 2B**, **Tabla 2**). Para los reptiles se encontraron diferencias significativas en el número de accidentes por estación ($\chi^2=60.92$, gl: 3, $p<0.0001$) siendo atropellados mayormente en verano y primavera (**Fig. 2C**; **Tabla 2**). Para el total de especies la cobertura tuvo efecto significativo ($\chi^2=6.48$, gl: 2, $p=0.04$) (**Fig. 2D**; **Tabla 2**) al igual que al considerar los mamíferos amenazados ($\chi^2=10.9$, gl: 3, $p=0.004$) (**Fig. 2E**; **Tabla 2**), siendo el bosque nativo donde más atropellamientos ocurren.

El 54.3% de los subtramos se encuentran dentro de áreas protegidas, mientras que el 45.7% restante en áreas sin protección. El 70.7% de los accidentes detectados ocurrió dentro de áreas protegidas: el 40.1% dentro del PP Puerto Península y el 30.1% dentro del PP Iguazú. Dentro de las áreas protegidas fueron atropelladas 89 especies, de las cuales diez se encuentran amenazadas y fueron

Tabla 1. Resumen de los atropellamientos por grupo taxonómico. N (número de individuos), % (porcentaje), TA (Tasa de atropellamiento).

Table 1. Summary of roadkills by taxonomic group. N (number of individuals), % (percentage), TA (rate of roadkills).

Grupo	Abundancia (N)	%	TA ind./km ² /día
Mamíferos	1204	67.5	0.025
Aves	449	25.2	0.009
Reptiles	131	7.3	0.003
Total	1784		0.037

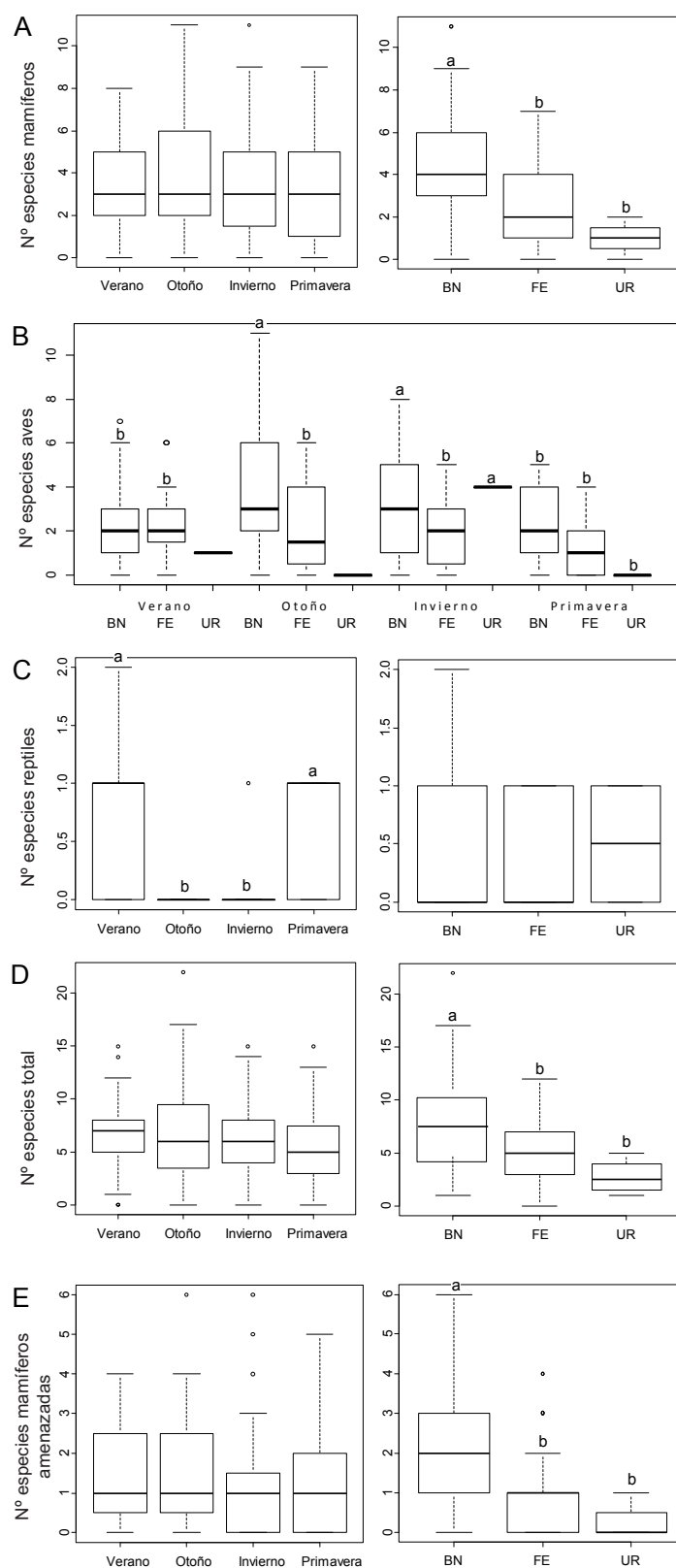


Figura 2. Boxplot de especies atropelladas por kilómetro en función de las estaciones del año (V: verano, O: otoño, I: invierno, P: primavera) y la cobertura de ambientes (BN: bosque nativo, FE: forestación exótica; UR: urbanización) para: A) mamíferos, B) aves, C) reptiles, D) especies total, E) mamíferos amenazados. Líneas gruesas = mediana; Caja = 25% a 75% de los datos; Barras = mínimo y máximo excluyendo datos atípicos. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Figure 2. Roadkill wildlife abundance of species per kilometer boxplot in relation to the seasons of the year (V: summer, O: autumn, I: winter, P: spring) and to environment coverage (BN: native forest, FE: exotic afforestation; UR: urbanization) for: A) mammals, B) birds, C) reptiles, D) total species, E) threatened mammals. Thick lines = median; Box = 25% to 75% of the data; Bars = minimum and maximum excluding outliers. Different letters indicate significant differences ($p<0.05$).

Tabla 2. Variables predictoras significativas para cada variable respuesta analizada y sus valores correspondientes de χ^2 , grados de libertad (gl) y p valor.
Table 2. Significant predictor variables for each response variable analyzed and their corresponding values of χ^2 , degrees of freedom (gl) and p value.

Variable respuesta	Grupo	N	Variables predictoras	χ^2	gl	p valor
N° de especies	Mamíferos	30	Cobertura	9.28	2	0.01
	Aves	70	Interacción Estación-Cobertura	12.44	6	0.05
	Reptiles	3	Estación	60.92	3	<0.0001
	Total	104	Cobertura	6.48	2	0.039
N° de especies amenazadas	Mamíferos	18	Cobertura	10.9	2	0.004

atropelladas exclusivamente dentro de estas áreas: el yaguararé (*Panthera onca*), los gatos margay (*Leopardus wiedii*) y tigris (*L. tigrinus*), el arasarí chico (*Selenidera maculisrostris*), la lechucita estriada (*Ciccaba virgata*), el lechuzón negruzco, la pava de monte (*Penelope superciliaris*), el urú (*Odontophorus capueira*) y la culebra ñacanina-hu. Tanto dentro como fuera de las áreas protegidas fueron atropelladas seis especies, todas ellas en estado "vulnerable" de conservación: aguará popé (*Procyon cancrivorus*), cabasú grande (*Cabassous tatouay*), coendú (*Sphiggurus spinosus*), comadreja lanuda (*Caluromys lanatus*), corzuela enana (*Mazama nana*) y el hurón menor (*Galictis cuja*). Fuera de las áreas protegidas fueron atropelladas 69 especies, entre las que podemos destacar el puma (*Puma concolor*), el tatú peludo (*Euphractus sexcinctus*), el carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*) y la cuica de agua (*Chironectes minimus*), éstas últimas categorizadas como "cercañas a la amenaza".

Los subtramos con mayor cantidad de accidentes se encuentran dentro de áreas protegidas. Once subtramos tuvieron accidentes mayores a la tasa media, con ≥ 30 especies accidentadas por kilómetro (Fig. 3A). En 12 subtramos detectamos el atropellamiento de ≥ 7 especies amenazadas (Fig. 3B). Tanto en las cercanías de Puerto Iguazú como en la zona con controles de gendarmería el número de accidentes por kilómetro fue aparentemente menor (Figs. 3A y 3B). Los cursos de agua que atraviesan la ruta coinciden con subtramos con número alto de especies atropelladas.

Del total de animales atropellados registrados, 1667 fueron encontrados muertos, lo que corresponde a un 93.4%. Del 6.6% restante, el 44.3% murió luego en Güira Oga, entre ellos alicucos, comadrejas overas y taguatós; el 11.4% continuaron en rehabilitación (por ejemplo, jote cabeza negra, tucán grande, zorro de monte) y el 44.3% restante fue liberado (osos meleros, taguatós y comadrejas, entre otros).

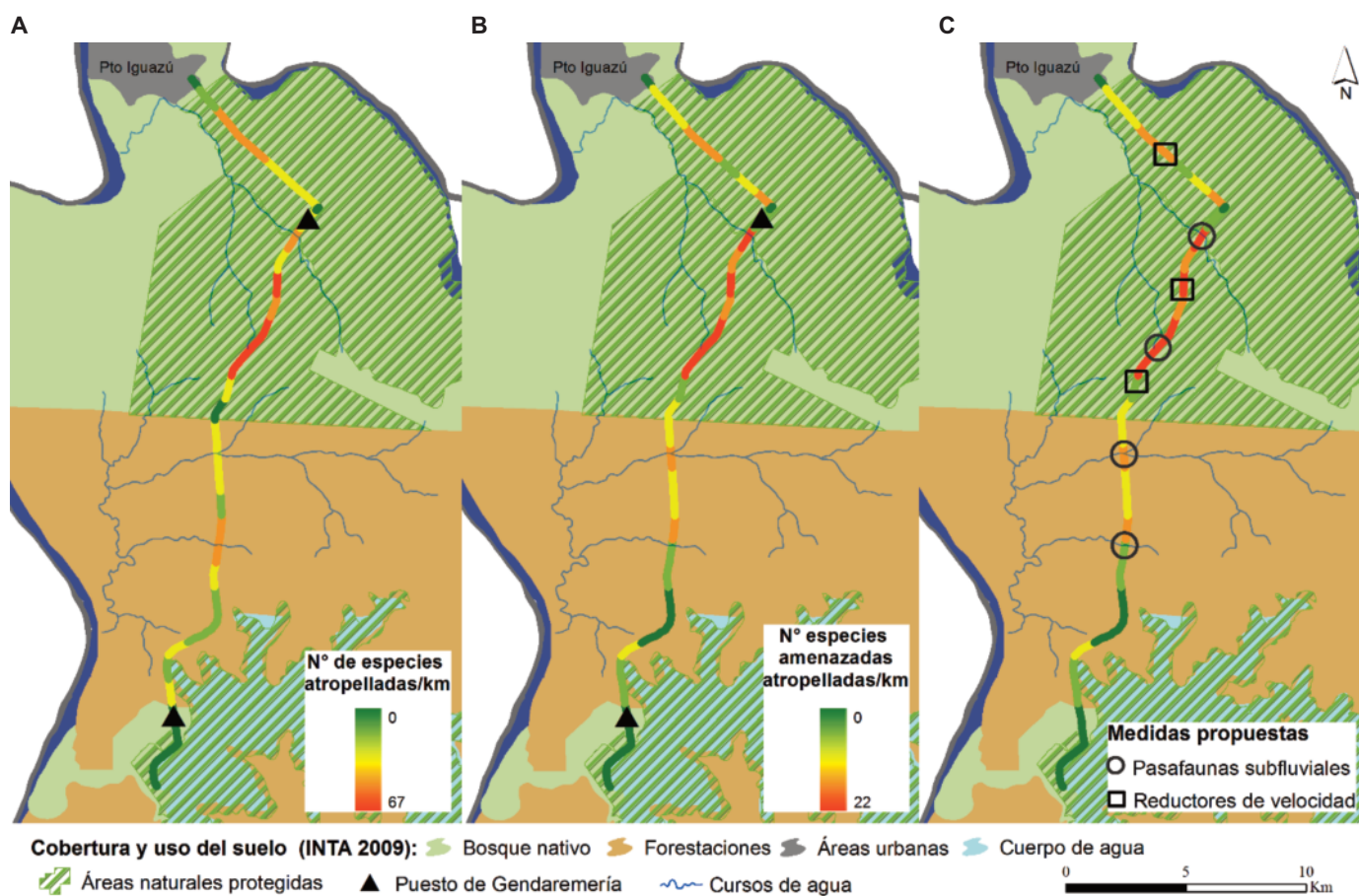


Figura 3. Distribución espacial de animales silvestres atropellados en la Ruta Nacional 12: el número de especies total (A) y la abundancia de especies amenazadas por km (B). C) Medidas propuestas para mitigar los accidentes sobre la fauna silvestre en la Ruta Nacional N° 12.

Figure 3. Spatial distribution of roadkill wildlife in National Route 12 considering the total abundance per km (A) and the abundance of threatened species per km (B). C) Proposed measures to mitigate wildlife accidents in National Route N° 12.

Discusión

Los taxones de fauna silvestre con más individuos atropellados fueron mamíferos y aves. Los mamíferos resultaron los más atropellados en número de individuos, pero las aves resultaron ser la de mayor cantidad de especies accidentadas. Registramos pocas especies con alto número de atropellamientos y muchas especies con pocos individuos atropellados. El 23.3% de las especies atropelladas se encuentran bajo algún grado de amenaza (N=24), y más del 90% de los ejemplares atropellados murieron a causa del accidente, evidenciando la gravedad de la problemática.

Nuestros resultados coinciden con un estudio realizado por la Administración de Parques Nacionales dentro del PN Iguazú (Liva et al. 2000), donde el 74% de los animales atropellados resultaron ser mamíferos. A su vez, coincide con trabajos similares realizados en Brasil, por ejemplo, en la ruta GO-060, Estado de Goiás (da Cunha et al. 2010); BR-158, Rio Grande do Sul (da Silva Oliveira y da Silva 2012); BR-174, Amazonas (Omena-Junior et al. 2012); BR-392 y RS-149, Rio Grande do Sul (Silva et al. 2013) y BR-262, Triângulo Mineiro (Santos et al. 2014).

La comadreja overa resultó la especie más atropellada, lo que concuerda con Liva et al. (2000) y Cândido Jr. et al. (2010) en el lado brasileiro del PN Iguazú (Parque Nacional do Iguaçu). Esta especie tiene una amplia distribución en Sudamérica, es de hábitos generalistas y se adapta a diferentes tipos de ambientes, tanto naturales como antrópicos (Coelho et al. 2008; Gardner 2008). En diversos trabajos en la región, *D. albiventris* (Bager y da Rosa 2010; Rezini 2010; Orlandin et al. 2015, entre otros) y *D. marsupialis* (Coelho et al. 2008; De la Ossa y De La Ossa 2013; Seijas et al. 2013; Omena-Junior et al. 2012; Monroy et al. 2015) resultaron ser las especies más atropelladas. Ambas marsupiales, con hábitos muy similares. El alto número de atropellamientos de estas especies puede estar relacionado con su abundancia y sus hábitos (Monroy et al. 2015).

En relación a las aves atropelladas, se observa que en su mayoría son especies de hábitos oportunistas, lo que las podría hacer más sensibles a ser atropelladas en virtud de su comportamiento de forrajeo y abundancia (De la Ossa y Galván-Guevara 2015). Las que más accidentes sufrieron fueron la rapaz nocturna alicuco, el taguató y el anó chico (*Crotophaga ani*), especies generalistas que pueden alimentarse de insectos, pequeños mamíferos y pequeños reptiles.

La tasa total de atropellamientos (TA) obtenida en nuestro estudio (0.037 ind./km²día) es menor a las tasas obtenidas en estudios similares: 0.328 ind./km²día en Colombia (Monroy et al. 2015) y 0.139 en Venezuela (Seijas et al. 2013). Para los mamíferos, la tasa resultó de 0.025 ind./km²día, valores inferiores a los obtenidos en Colombia (0.047 ind./km²día; Monroy et al. 2015), a los 0.079 ind./km²día determinados para Mato Grosso, Brasil (Melo y Santos-Filho 2007), pero mayor a los 0.012 ind./km²día obtenidos en Goiás, Brasil (da Cunha et al. 2010). Tanto para las aves (TA=0.009 ind./km²día) como para los reptiles (TA=0.003 ind./km²día) se obtuvieron tasas inferiores a las obtenidas en otros países (da Cunha et al. 2010; Seijas et al. 2013; De La Ossa y Galván-Guevara 2015). Las diferencias entre estudios pueden deberse a las diferentes abundancias de las especies atropelladas (D'Amico et al. 2015), así como a diferencias en características de las rutas como flujo vehicular o velocidad límite (Barrientos y Bolonio 2009; da Cunha et al. 2010). A su vez las bajas tasas obtenidas en relación a otros estudios pueden deberse a la señalización presente en la ruta y a la campaña de concientización realizada. Por otro lado, la presencia de grandes espacios protegidos puede generar que las perturbaciones generadas por la carretera con alto flujo vehicular disuadan los movimientos de los animales sobre la misma (Clevenger et al. 2003; Thurfjell et al. 2015) y que estos se alejen a zonas menos transformadas. En bosques tropicales o subtropicales existe un gran contraste entre el microclima dentro del bosque y el camino que lo atraviesa (Laurance et al. 2009).

Es probable que el número de individuos atropellados sea mayor al detectado (Boves y Belthoff 2012; Beckmann y Shine 2015). Algunos animales pueden quedar heridos y buscar refugio fuera del camino (Coelho et al. 2008), como el caso de un yagareté atropellado en el presente estudio que tras el accidente ingresó en el bosque, no pudo ser localizado y su estado no pudo ser conocido. Diversos factores afectan la exactitud en las estimaciones del número de atropellamientos, como por ejemplo la persistencia del cadáver en la carretera que puede verse influenciada por el clima, la presencia de carroñeros, el flujo vehicular, o la detectabilidad que se ve afectada por el tamaño del cadáver, la vegetación, el método de relevamiento y la capacidad del observador (Texeira et al. 2013; Monroy et al. 2015; Guinard et al. 2015; Santos et al. 2016). En este tipo de estudios, los mamíferos suelen ser menos subestimados que las aves, ya que la menor tasa de remoción y su gran tamaño corporal aumenta la detectabilidad (Texeira et al. 2013; Santos et al. 2016). Suele recomendarse que los estudios centrados en la comunidad de vertebrados se basen en monitoreos diarios orientados a tal fin para evitar la subestimación de los resultados (Santos et al. 2011), como fue realizado el presente estudio. Sin embargo, los animales pequeños y los que se encuentran fuera del camino están siendo subestimados (Santos et al. 2016).

Los factores climáticos influyen sobre la disponibilidad de alimento y época reproductiva, lo cual se relaciona con el número de atropellamientos (Monroy et al. 2015). En el presente trabajo, las estaciones del año tuvieron influencia sobre los atropellamientos de manera diferencial para cada taxón analizado. Para los mamíferos no se observaron diferencias en el número de especies atropelladas entre estaciones, probablemente debido a que en el área de estudio haya disponibilidad de recursos durante todo el año. Para las aves el otoño e invierno resultaron las estaciones con mayor cantidad de especies atropelladas dentro de los bosques nativos. Esto podría deberse a una mayor dispersión de los individuos en busca de alimento y de temperaturas más favorables (Isacch y Martínez 2001; da Rosa y Bager 2012). Para los reptiles el número de especies accidentadas en primavera y verano fue significativamente mayor y nulo en otoño e invierno. Esto coincide con la época de mayor actividad de los mismos, ya que durante la época reproductiva aumentan su desplazamiento (Southwood y Avens 2010; Cuyckens et al. 2016) y utilizan el calor del asfalto para la termorregulación (Arroyabe et al. 2006; Silva et al. 2013). Esto también puede explicar el alto número de individuos de lagarto overo atropellados. A su vez estos animales reducen su actividad en épocas de bajas temperaturas (Toledo et al. 2008), coincidente con los resultados del presente estudio.

Cuando consideramos el tipo de vegetación circundante, asociado al grado de protección del hábitat, encontramos diferencias en el número de especies atropelladas de mamíferos, mamíferos amenazados y para el total de especies. El mayor número de accidentes se dio en áreas de bosque nativo (tanto en individuos atropellados, como en especies). Dentro de las áreas protegidas fueron atropelladas 16.9% especies amenazadas, mientras que fuera de éstas solo un 8.7%. Las especies en estado más crítico solo fueron atropelladas en áreas protegidas, como el caso del yagareté. Esto puede estar relacionado con que en estas áreas es donde hay una mayor riqueza y abundancia de especies de fauna. Al ser zonas menos fragmentadas suelen presentar mayor incidencia de atropellamientos de fauna silvestre dado el mayor tránsito de animales (da Cunha et al. 2010). Las forestaciones de especies exóticas pueden brindar refugio para algunas especies de fauna (Lantschner et al. 2012). En ese estudio se registraron atropellados felinos como el puma y ocelote (*L. pardalis*) y carnívoros como los hurones (*Eira barbara* y *Galictis cuja*), pero este tipo de ambiente no brinda los mismos recursos que el bosque nativo, en especial cuando este se encuentra bajo protección. Las zonas urbanas tuvieron bajo número de atropellamientos, probablemente debido a que en estas zonas disminuye el número de animales, dada la menor disponibilidad de recursos y a que la velocidad máxima permitida es menor. También puede ocurrir que la presencia de urbanización aumente la tasa de desaparición de los animales atropellados. Las especies

atropelladas en los tres tipos de ambientes presentes, como la comadreja overa, el alicuco, el benteveo (*Pitangus sulphuratus*), el carpintero campestre (*Colaptes campestris*), la lechuza de campanario (*Tyto alba*), el taguató (*Buteo magnirostris*) y el lagarto overo, están adaptadas a diferentes tipos de hábitat, tanto naturales como urbanos (Canevari y Vaccaro 2007; Narosky e Yzurieta 2010).

Al tener en cuenta el número de especies accidentadas por kilómetro fueron identificados once sitios críticos en la Ruta 12: kilómetros 1613 al 1615 en áreas forestadas, 1621 al 1626, 1627 al 1628 dentro del PP Puerto Península y 1632 al 1635 dentro del PN Iguazú. Considerando solamente el número de especies amenazadas atropelladas, 12 kilómetros fueron identificados como críticos para la fauna. Estos corresponden a los 1614 al 1615 y 1617 al 1618, los kilómetros 1621 al 1628 dentro del PP Puerto Península, entre los kilómetros 1619 al 1630 y 1632 al 1634 dentro del PN Iguazú. Los subtramos críticos que se encuentran fuera de áreas protegidas se encuentran atravesados por cursos de agua. Esto puede deberse a que la fauna silvestre se ve atraída por los mismos y los utiliza como sitios para cruzar el camino. Considerando la cantidad de especies atropelladas y las amenazadas los tramos con menor número de accidentes resultaron ser los que cuentan con control de Gendarmería Nacional y la zona de ingreso a la ciudad de Puerto Iguazú, donde las velocidades máximas permitidas son menores. En el cruce que separa el Arroyo Uruguay del embalse, la ruta se encuentra sobre la represa hidroeléctrica, y en ese sector no se registraron atropellamientos.

Recomendaciones

En los sitios identificados como críticos, es en donde deberían priorizarse las medidas de mitigación. En general, no hay solo una medida para disminuir los efectos negativos de las rutas sobre la biodiversidad, sino que se requiere la aplicación de una serie de medidas integradas y adaptadas a las características paisajísticas y faunísticas de cada zona (Iuell et al. 2005; Polak et al. 2014). De todas las amenazas para la fauna que se aproxima o cruza rutas y caminos, la mayor es el exceso de velocidad de los vehículos (Nigro y Lodeiro Ocampo 2009), por lo que las medidas deberían estar destinadas a lograr que los conductores reduzcan la velocidad o a que la fauna local evite los tramos más peligrosos (Glista et al. 2009). Una de las medidas sería la creación de rotondas que obliguen a los vehículos a disminuir la marcha o la colocación de reductores de velocidad (lomas de burro, pianitos o bandas rugosas, entre otras) y foto radares móviles que controlen la velocidad de los vehículos. En la figura 3C se indican los sitios donde se recomienda utilizar este tipo de medidas. Las mismas medidas de mitigación deberían acompañarse de campañas de concientización, como por ejemplo reforzar la cartelera (Polak et al. 2014), en particular en las zonas críticas identificadas, con mensajes acerca de la importancia de la fauna en esta región.

En las zonas donde la ruta es atravesada por arroyos se propone construir pasafauas subfluviales, que a su vez permiten desaguar los cursos de agua (Iuell et al. 2005; Glista et al. 2009; Armada et al. 2011). Este tipo de viaductos permiten la posibilidad de dispersión de mamíferos pequeños y medianos, incluso carnívoros (Grillo et al. 2008), así como reptiles (Iuell et al. 2005). El mismo debe tener una altura mínima de 3.5 m y un ancho mínimo de 15 m, y pueden adaptarse estructuras ya existentes para reducir los costos (Iuell et al. 2005). En el segmento estudiado se encuentran cuatro cruces de arroyos sobre tramos identificados como críticos que podrían utilizarse para este fin (Fig. 3C). Al ser una zona de bosque, estas medidas pueden complementarse con la colocación de "pasos entre árboles". Los mismos permiten mantener la conectividad del dosel y son utilizados por especies arbóreas que no utilizan el suelo para desplazarse (Iuell et al. 2005; Soanes y van der Ree 2015).

Dado que la estación del año influyó de manera diferencial en el número de especies atropelladas de reptiles y aves, pero no tuvo influencia en el atropellamiento de especies amenazadas, las medidas a tomar no deben focalizarse en una sola época del año,

sino que deben implementarse de manera permanente. Deben priorizarse las medidas de control en zonas con presencia de bosque nativo, donde el número de especies amenazadas atropelladas resultó ser significativamente mayor.

El presente trabajo expone la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación para reducir la tasa de accidentes en esta porción de la Ruta Nacional N° 12. Misiones es pionera en la construcción de pasafauas en la Argentina, con el primer ecoducto construido en América Latina. Se espera que las medidas propuestas complementen lo ya realizado en la provincia. Una vez implementadas las medidas propuestas, debería evaluarse su efectividad a largo plazo.

Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que brindaron información sobre atropellamientos de fauna para nutrir este trabajo y a la Fundación Azara por el apoyo brindado a los autores. También agradecemos a los revisores que con sus valiosos aportes contribuyeron a la mejora sustancial del manuscrito.

Referencias

- Abdala, C.S., Acosta, J.L., Acosta, J.C., Álvarez, B.B., Arias, F., Avila, L.J., Blanco, M.G., Bonino, M., Boretto, J.M., Brancatelli, G. 2012. Categorización del estado de conservación de las lagartijas y anfisbenas de la República Argentina. *Cuadernos de herpetología* 26: 33.
- Aresco, M.J. 2005. Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a north Florida lake. *Journal of Wildlife Management* 69: 549-560.
- Armada, C.M., Ciccioli, S.E., Lutz, J.D., Novak, C. 2011. Fauna y tránsito en la provincia de Misiones. Medidas para facilitar los desplazamientos de fauna y reducir los impactos de ocupación y fragmentación de hábitats. *Carreteras*: 9.
- Arroyave, M.d.P., Gómez, C., Gutiérrez, M.E., Múnera, D.P., Zapata, P.A., Vergara, I.C., Andrade, L.M., Ramos, K.C. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*: 45-57.
- Bager, A., Rosa, C.A. 2010. Priority ranking of road sites for mitigating wildlife roadkill. *Biota Neotropica* 10: 149-153.
- Barrientos, R., Bolonio, L. 2009. The presence of rabbits adjacent to roads increases polecat road mortality. *Biodiversity and Conservation* 18: 405-418.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R.H.B., Singmann, H., Dai, B., Grothendieck, G., Eigen, C., Rcpp, L. 2014. Package 'lme4'. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>
- Beckmann, C., Shine, R. 2015. Do the numbers and locations of road-killed anuran carcasses accurately reflect impacts of vehicular traffic? *The Journal of Wildlife Management* 79: 92-101.
- Boves, T.J., Belthoff, J.R. 2012. Roadway mortality of barn owls in Idaho, USA. *The Journal of Wildlife Management* 76: 1381-1392.
- Cândido Jr, J.F., de Souza Rodrigues, L.D.F., de Oliveira Sereia, D.A. 2010. Levantamento de animais atropelados na rodovia BR 163, sudoeste do Paraná. *Resumos do II Simpósio de Biologia da Conservação do Norte do Paraná*. Cornélio Procopio.
- Canevari, M., Vaccaro, O. 2007. *Guía de mamíferos del sur de América del Sur*. L.O.L.A., Buenos Aires. Argentina.
- Carvalho, F., Mira, A. 2011. Comparing annual vertebrate road kills over two time periods, 9 years apart: a case study in Mediterranean farmland. *European Journal of Wildlife Research* 57: 157-174.
- Clevenger, A.P., Chruszcz, B., Gunson, K.E. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation* 109: 15-26.
- Clevenger, A.P., Huijser, M.P. 2011. *Wildlife crossing structure handbook: design and evaluation in North America*. Department of Transportation, Federal Highway Administration Washington D.C., Estados Unidos.
- Coelho, I.P., Kindel, A., Coelho, A.V.P. 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research* 54: 689.
- Coffin, A.W. 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography* 15: 396-406.

- Colwell, R.K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User's Guide and application. Disponible en: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Cramer, P., Olsson, M., Gadd, M.E., van der Ree, R., Sielecki, L.E. 2015. Transportation and large herbivores. *Handbook of Road Ecology*: 344-352.
- Cuyckens, G.A.E., Mochi, L.S., Vallejos, M., Perovic, P.G., Biganzoli, F. 2016. Patterns and Composition of Road-Killed Wildlife in Northwest Argentina. *Environmental management* 58: 810-820.
- da Cunha, H.F., Moreira, F.G.A., de Sousa Silva, S. 2010. Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás State, Brazil-[doi: 10.4025/actasciobiolsci.v32i3.4752](https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v32i3.4752). *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 32: 257-263.
- da Rosa, C.A., Bager, A. 2012. Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. *Journal of Environmental Management* 97: 1-5.
- da Silva Oliveira, D., da Silva, V.M. 2012. Vertebrados silvestres atropelados na BR 158, RS, Brasil. *Biotemas* 25: 229-235.
- D'Amico, M., Román, J., De los Reyes, L., Revilla, E. 2015. Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: who, when and where. *Biological Conservation* 191: 234-242.
- De Angelo, C. 2009. *El paisaje del Bosque Atlántico del Alto Paraná y sus efectos sobre la distribución y estructura poblacional del jaguar (Panthera onca) y el puma (Puma concolor)*. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- de Freitas, C.H., Justino, C.S., Setz, E.Z. 2015. Road-kills of the giant anteater in south-eastern Brazil: 10 years monitoring spatial and temporal determinants. *Wildlife Research* 41: 673-680.
- De La Ossa, N.O., De La Ossa, V.J. 2013. Fauna silvestre atropellada en dos vías principales que rodean los Montes de María, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 5: 158-164.
- De La Ossa, V.J., Galván-Guevara, S. 2015. Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo-ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombiana* 16.
- Di Rienzo, J.A., Guzmán, A.W., Casanoves, F. 2002. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 7: 129-142.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- ESRI 2015. ArcGIS 10.3.1; Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA. Estados Unidos.
- Forman, R.T., Alexander, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*: 207-C202.
- Gardner, A.L. 2008. *Mammals of South America, volume 1: marsupials, xenarthrans, shrews, and bats*. University of Chicago Press. Chicago, IL. Estados Unidos.
- Garriga, N., Franch, M., Santos, X., Montori, A., Llorente, G.A. 2017. Seasonal variation in vertebrate traffic casualties and its implications for mitigation measures. *Landscape and Urban Planning* 157: 36-44.
- Glista, D.J., DeVault, T.L., DeWoody, J.A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning* 91: 1-7.
- Grilo, C., Bissonette, J.A., Santos-Reis, M. 2008. Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: implications for road planning and mitigation. *Biodiversity and Conservation* 17: 1685-1699.
- Guinard, É., Prodon, R., Barbraud, C. 2015. Case Study: A Robust Method to Obtain Defendable Data on Wildlife Mortality. *Handbook of Road Ecology*: 96.
- Gumier-Costa, F., Sperber, C.F. 2009. Atropelamientos de vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. *Acta Amazonica* 39: 459-466.
- Harris, L.D., Scheck, J. 1991. From implications to applications: the dispersal corridor principle applied to the conservation of biological diversity. *Nature conservation* 2: 189-220.
- Heilman, G.E., Strittholt, J.R., Slosser, N.C., Dellasala, D.A. 2002. Forest Fragmentation of the Conterminous United States: Assessing Forest Integrity through Road Density and Spatial Characteristics Forest fragmentation can be measured and monitored in a powerful new way by combining remote sensing, geographic information systems, and analytical software. *BioScience* 52: 411-422.
- Ibisch, P.L., Hoffmann, M.T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., DellaSala, D.A., Vale, M.M., Hobson, P.R., Selva, N. 2016. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science* 354: 1423-1427.
- INTA 2009. Monitoreo de la cobertura y el uso del suelo a partir de sensores remotos. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/cobertura-del-suelode-la-republica-argentina.-ano-2006-2007-lccsfao/>
- Isacch, J.P., Martínez, M.M. 2001. Estacionalidad y relaciones con la estructura del hábitat de la comunidad de aves de pastizales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) manejados con fuego en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ornitología Neotropical* 12: 345-354.
- luell, B., Bekker, H., Cuperus, R., Dufek, J., Hlavac, V., Keller, V., Rosell, C., Sangwine, T., Torslow, N., Wandall, B. 2005. COST 341. *Fauna y Tráfico. Un manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones*. Servicio de Publicaciones. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España.
- Lantschner, M.V., Rusch, V., Hayes, J.P. 2012. Habitat use by carnivores at different spatial scales in a plantation forest landscape in Patagonia, Argentina. *Forest Ecology and Management* 269: 271-278.
- Laurance, W.F., Goosem, M., Laurance, S.G. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 659-669.
- Liva, A., Hoermann, I., Garzón, G. 2000. *Atropellamientos de fauna en rutas y caminos internos del Parque Nacional Iguazú, Misiones*. Informe Técnico. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/79875190/Atropellamiento-de-fauna-en-rutas-y-caminos-internos-del-Parque-Nacional-Iguazu-Misiones>
- López-Lanús, B., Grilli, P., Coconier, E., Di Giacomo, A., Banchs, R. 2008. *Categorización de las aves de la Argentina según su estado de conservación*. Informe de Aves Argentinas/AOP y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires, Argentina.
- Melo, E.S., Santos-Filho, M. 2007. Efeitos da BR-070 na Província Serrana de Cáceres, Mato Grosso, sobre a comunidade de vertebrados silvestres. *Revista Brasileira de Zootecias* 9.
- Monroy, M.C. 2015. Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre – María la baja, Caribe Colombiano. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 1.
- Narosky, T., Yzurieta, D. 2010. *Aves de Argentina y Uruguay: guía de Identificación*. Vazquez-Mazzini, Buenos Aires. Argentina.
- Nigro, N., Lodeiro, N. 2009. Atropellamiento de fauna silvestre en las rutas de la provincia de Misiones, Argentina. *Reportes Tigreros. Red Yaguararé*. Serie Conservación 2.
- Ojeda, R.A., Chillo, V., Diaz Isenrath, G.B. 2012. *Libro Rojo de Mamíferos Amenazados de la Argentina*. SAREM (Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos). Mendoza, Argentina.
- Omena Junior, R., Pantoja-Lima, J., Santos, A.L.W., Ribeiro, G.A., Aride, P.H.R. 2012. Caracterização da fauna de vertebrados atropelada na rodovia BR 174, Amazonas, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4: 291-307.
- Orlandin, E., Piovesan, M., Favretto, M.A., D'Agostini, F.M. 2015. Mamíferos de médio e grande porte atropelados no Oeste de Santa Catarina, Brasil. *Biota Amazonia (Biota Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)* 5: 125-130.
- Placi, G., Di Bitetti, M., Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M., Corcuera, J. 2005. Situación ambiental en la ecorregión del bosque Atlántico del Alto Paraná (selva paranaense). En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M., Corcuera, J. (eds.). *La situación ambiental argentina*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. Argentina.
- Polak, T., Rhodes, J.R., Jones, D., Possingham, H.P. 2014. Optimal planning for mitigating the impacts of roads on wildlife. *Journal of applied ecology* 51: 726-734.
- Prado, T.R., Ferreira, A.A., Guimarães, Z.F.S. 2006. Efeito da implantação de rodovias no cerrado brasileiro sobre a fauna de vertebrados. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 28: 237-241.
- R. Core Team 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.r-project.org/>.
- Rezini, J.A. 2010. *Atropelamiento de mamíferos em rodovias do leste dos Estados do Paraná e Santa Catarina, Sul do Brasil*. Maestría en Ecología y Conservación, Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil.
- Rico-Guzmán, E., Cantó, J.L., Terrones, B., Bonet, A. 2012. Impacto del tráfico rodado en el PN del Carrascal de la Font Roja. ¿Cómo influyen las características de la carretera en los atropellos de vertebrados? *Galemys* 23.

- Rosa, A.O., Mauhs, J. 2004. Atropelamento de animais silvestres na rodovia RS-040. *Caderno de Pesquisa Série Biologia. Santa Cruz do Sul* 16: 35-42.
- Santos, S.M., Carvalho, F., Mira, A. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. *PLoS One* 6: e25383.
- Santos, C.M., Fonseca, P.H.M., Marinho, T.S., Cunha, G.C., Santos, E.A., Soares, M.H., Cavellani, C.L., Ferraz, M.L.F., Custódio, A.E.I., Teixeira, V.P.A., Martinelli, A., G. 2014. Estudo das espécies vítimas de atropelamento na rodovia br-262, no trecho ub Eraba-Peirópolis (Triângulo Mineiro, MG, Brasil). *Historia Natural (tercera serie)* 4: 53-61.
- Santos, R.A.L., Santos, S.M., Santos-Reis, M., de Figueiredo, A.P., Bager, A., Aguiar, L.M., Ascensão, F. 2016. Carcass persistence and detectability: reducing the uncertainty surrounding wildlife-vehicle collision surveys. *PLoS one* 6: e23583.
- Santos, T., Tellería, J. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* 15(2):3-12.
- Seijas, A.E., Araujo-Quintero, A., Velásquez, N. 2013. Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 61: 1-18.
- Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42: 371-382.
- Seo, C., Thorne, J.H., Choi, T., Kwon, H., Park, C.-H. 2013. Disentangling roadkill: the influence of landscape and season on cumulative vertebrate mortality in South Korea. *Landscape and ecological engineering* 11: 87-99.
- Silva, D.E., Corrêa, L.L.C., de Oliveira, S.V., Cappellari, L.H. 2013. Monitoramento de vertebrados atropelados em dois trechos de rodovias na região central do Rio Grande do Sul-Brasil. *Revista de Ciências Ambientais* 7: 27-36.
- Soanes, K., van der Ree, R. 2015. Reducing road impacts on tree-dwelling animals. En: van der Ree, R., Smith, D.J., Grilo, C. (eds.). *Handbook of Road Ecology*, pp. 334-340. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ. Estados Unidos.
- Southwood, A., Avens, L. 2010. Physiological, behavioral, and ecological aspects of migration in reptiles. *Journal of Comparative Physiology B* 180: 1-23.
- Taylor, B.D., Goldingay, R.L. 2010. Roads and wildlife: impacts, mitigation and implications for wildlife management in Australia. *Wildlife Research* 37: 320-331.
- Teixeira, F.Z., Coelho, A.V.P., Esperandio, I.B., Kindel, A. 2013. Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation* 157: 317-323.
- Thurfjell, H., Spong, G., Olsson, M., Ericsson, G. 2015. Avoidance of high traffic levels results in lower risk of wild boar-vehicle accidents. *Landscape and Urban Planning* 133: 98-104.
- Toledo, L.F., Brito, S.P., Milsom, W.K., Abe, A.S., Andrade, D.V. 2008. Effects of season, temperature, and body mass on the standard metabolic rate of tegu lizards (*Tupinambis merianae*). *Physiological and Biochemical Zoology* 81: 158-164.
- Turci, L.C.B., Bernarde, P.S. 2009. Vertebrados atropelados na rodovia estadual 383 em Rondônia, Brasil. *Biotemas* 22: 121-127.
- van der Grift, E.A., van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlahan, J., Jochen, A., Jaeger, G., Klar, N., Madriñan, L.F., Olson, L. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation* 22: 425.
- Zuur, A., Ieno, E.N., Smith, G.M. 2007. *Analysing ecological data*. Springer-Verlag New York, NY. Estados Unidos.

Apéndices

Apéndice 1. Abundancia de especies de fauna silvestre atropellada, estado de conservación y número de accidentes según cobertura y presencia de áreas protegidas. Estado de conservación según: [Ojeda et al. \(2012\)](#); [López-Lanús et al. \(2008\)](#) y [Abdala et al. \(2012\)](#).

Appendix 1. Wildlife roadkill abundance, conservation status and roadkills by type of coverage and protected areas presence. Conservation status according to [Ojeda et al. \(2012\)](#); [López-Lanús et al. \(2008\)](#) and [Abdala et al. \(2012\)](#).

Taxón	Nombre científico	Nombre Común	Estado conservación	Abundancia (N)	% del taxón	% del total	Tipo de cobertura			APs
							BN	FE	UR	
Mamíferos	<i>Didelphis albiventris</i>	Comadreja overa	LC	691	57.4	38.8	507	164	7	507
	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Oso melero	NT	78	6.5	4.4	60	14		60
	<i>Sphiggurus spinosus</i>	Coendú	VU	72	6.0	4.0	56	14	1	56
	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Tapetí	LC	70	5.8	3.9	54	16		54
	<i>Cerdocyon thous</i>	Zorro de monte	LC	59	4.9	3.3	43	16		42
	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Mulita	LC	50	4.2	2.8	37	13		37
	<i>Procyon cancrivorus</i>	Aguará popé	VU	36	3.0	2.0	24	12		24
	<i>Nasua nasua</i>	Coatí	LC	25	2.1	1.4	23	2		23
	<i>Puma yagouaroundi</i>	Yaguarundi	LC	18	1.5	1.0	14	4		14
	<i>Cabassous tatouay</i>	Cabasú grande	VU	17	1.4	1.0	11	6		11
	<i>Cuniculus paca</i>	Paca	NT	16	1.3	0.9	11	5		11
	<i>Eira barbara</i>	Hurón mayor	NE	11	0.9	0.6	9	1		9
	<i>Mazama americana</i>	Corzuela parda	NT	9	0.7	0.5	6	3		6
	<i>Cavia aperea</i>	Cuis	VU	8	0.7	0.4	1	7		1
	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	NT	8	0.7	0.4	6	2		6
	<i>Dasypsecta azarae</i>	Agutí	NT	7	0.6	0.4	5	2		5
	<i>Caluromys lanatus</i>	Comadreja lanuda	VU	5	0.4	0.3	4	1		4
	<i>Galictis cuja</i>	Hurón menor	VU	4	0.3	0.2	2	2		2
	<i>Leopardus tigrinus</i>	Tirica	VU	3	0.2	0.2	3			3
	<i>Leopardus wiedii</i>	Margay	VU	3	0.2	0.2	3			3
	<i>Mazama nana</i>	Corzuela enana	VU	3	0.2	0.2	2	1		2
	<i>Lepus europaeus</i>	Liebre europea	Exótica	2	0.2	0.1	2			1
	<i>Puma concolor</i>	Puma	LC	2	0.2	0.1		2		
	<i>Chironectes minimus</i>	Cuica de agua	NT	1	0.1	0.1		1		
	<i>Euphractus sexcinctus</i>	Tatú peludo	LC	1	0.1	0.1		1		
	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Carpincho	NT	1	0.1	0.1		1		
	<i>Nectomys squamipes</i>	Rata nadadora	LC	1	0.1	0.1	1			1
	<i>Panthera onca</i>	Yagareté	CR	1	0.1	0.1	1			1
	<i>Philander opossum</i>	Guikí	LC	1	0.1	0.1	1			1
	<i>Sciurus aestuans</i>	Ardilla Gris	NT	1	0.1	0.1	1			1
Total Mamíferos				1.204						
Aves	<i>Megascops choliba</i>	Alicuco	NA	91	20.3	5.1	69	21	1	68
	<i>Buteo magnirostris</i>	Taguató	NA	47	10.5	2.6	30	15	1	30
	<i>Crotophaga ani</i>	Anó chico	NA	38	8.5	2.1	18	20		18
	<i>Tyto alba</i>	Lechuza de campanario	NA	30	6.7	1.7	17	8	3	17
	<i>Cyanocorax chrysops</i>	Urraca común	NA	22	4.9	1.2	15	7		15
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Benteveo común	NA	22	4.9	1.2	7	14	1	6
	<i>Cacicus haemorrhous</i>	Boyero rabadilla roja	NA	15	3.3	0.8	15			15
	<i>Colaptes campestris</i>	Carpintero campestre	NA	13	2.9	0.7	3	9	1	3
	<i>Asio Stygius</i>	Lechuzón negruzco	AM	10	2.2	0.6	10			10
	<i>Crypturellus tataupa</i>	Tataupá común	NA	10	2.2	0.6	9	1		9
	<i>Playa cayana</i>	Tingazú	NA	10	2.2	0.6	8	2		8
	<i>Ramphastos toco</i>	Tucán Grande	NA	10	2.2	0.6	7	2		7
	<i>Guira guira</i>	Pirincho	NA	8	1.8	0.4	4	4		4
	<i>Ramphastos dicolorus</i>	Tucán de pico verde	NA	6	1.3	0.3	5			5
	<i>Aramides saracura</i>	Saracura	NA	5	1.1	0.3	1	3		1
	<i>Asio clamator</i>	Lechuzón orejudo	NA	5	1.1	0.3	2	3		2
	<i>Cissopis leveriana</i>	Frutero overo	NA	5	1.1	0.3	4	1		4
	<i>Nyctibius griseus</i>	Urutaú	NA	5	1.1	0.3	1	3		1
	<i>Columbina talpacoti</i>	Palomita colorada	NA	4	0.9	0.2	1	3		1
	<i>Coragyps atratus</i>	Jote cabeza negra	NA	4	0.9	0.2	3			3
	<i>Milvago chimachima</i>	Chimachima	NA	4	0.9	0.2	3	1		3
	<i>Phacellodomus ruber</i>	Espinero grande	NA	4	0.9	0.2	3	1		3
	<i>Sin identificar</i>	-	s/d	4	0.9	0.2	2	1		2

Continuación Apéndice 1.

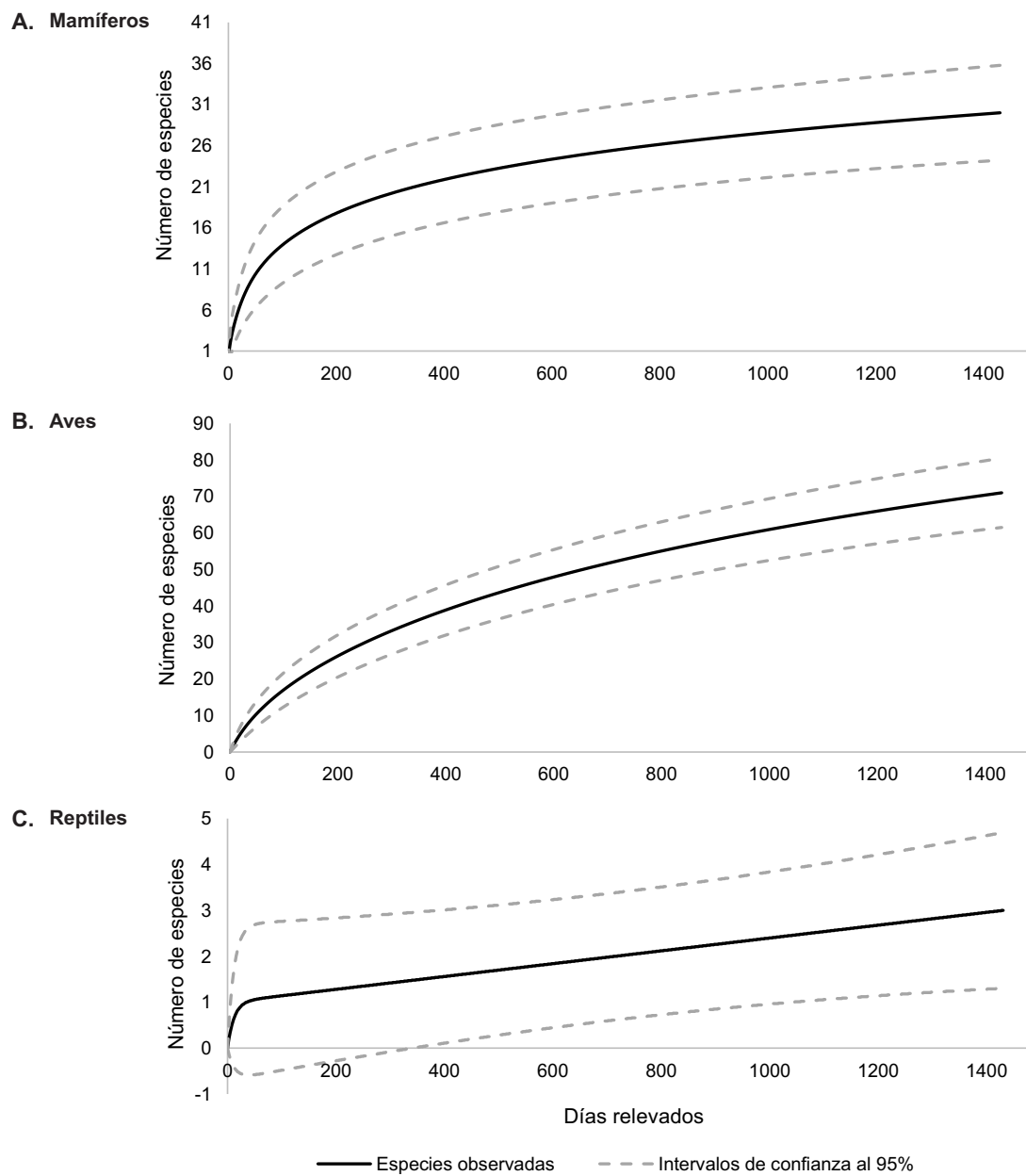
Appendix 1, continuation.

Taxón	Nombre científico	Nombre Común	Estado conservación	Abundancia (N)	% del taxón	% del total	Tipo de cobertura			APs
							BN	FE	UR	
Aves	<i>Turdus rufiventris</i>	Zorzal colorado	NA	4	0.9	0.2	1	3		1
	<i>Baryphthengus ruficapillus</i>	Yeruvá	NA	3	0.7	0.2	3			3
	<i>Colaptes melanochloros</i>	Carpintero real	NA	3	0.7	0.2	1	2		1
	<i>Penelope supercilialis</i>	Pava de Monte	VU	3	0.7	0.2	3			3
	<i>Picumnus cirratus</i>	Carpinterito común	NA	3	0.7	0.2	2			2
	<i>Turdus leucomelas</i>	Zorzal sabiá	NA	3	0.7	0.2	3			3
	<i>Tyrannus savana</i>	Tijereta	NA	3	0.7	0.2	2	1		2
	<i>Celeus flavescens</i>	Carpintero copete amarillo	NA	2	0.4	0.1	2			2
	<i>Forpus xanthopterygius</i>	Catita enana	NA	2	0.4	0.1	1	1		1
	<i>Furnarius rufus</i>	Hornero	NA	2	0.4	0.1	1	1		
	<i>Hemithraupis guira</i>	Sairá dorado	NA	2	0.4	0.1	1	1		1
	<i>Hydropsalis torquata</i>	Atajacaminos tijera	NA	2	0.4	0.1		2		
	<i>Leptotila verreauxi</i>	Yerutí	NA	2	0.4	0.1	2			2
	<i>Odontophorus capueira</i>	Urú	VU	2	0.4	0.1	2			2
	<i>Pardirallus maculatus</i>	Gallineta overa	NA	2	0.4	0.1		2		
	<i>Phaethornis eurynome</i>	Colibrí ermitaño escamado	NA	2	0.4	0.1	1	2		1
	<i>Pteroglossus castanotis</i>	Arasari fajado	NA	2	0.4	0.1	2			2
	<i>Sin identificar</i>	Atajacaminos	NA	2	0.4	0.1	2	1		2
	<i>Thamnophilus caerulescens</i>	Choca común	NA	2	0.4	0.1	1	1		1
	<i>Zenaida auriculata</i>	Paloma torcaza	NA	2	0.4	0.1	2			1
	<i>Accipiter bicolor</i>	Azor variado	NA	1	0.2	0.1				
	<i>Accipiter striatus</i>	Azor común	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Apus apus</i>	Vencejo común	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Athene cunicularia</i>	Lechucita Pampa	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Chamaeza campanisona</i>	Tovaca	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Ciccaba virgata</i>	Lechucita estriada	AM	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Colaptes rubiginosus</i>	Carpintero verde	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Columbina picui</i>	Torcacita	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Crypturellus obsoletus</i>	Tataupá rojizo	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Crypturellus parvirostris</i>	Tataupá chico	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Dysithamnus mentalis</i>	Choca Amarilla	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Falco sparverius</i>	Halconcito colorado	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Geotrygon montana</i>	Paloma perdiz castaña	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Ictinia plumbea</i>	Milano plumizo	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Machetornis rixosa</i>	Picabuey	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Mackenziaena leachii</i>	Batará punteado	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Mackenziaena severa</i>	Batará copetón macho	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Micrastur ruficollis</i>	Halcón montés chico	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Myiodynastes maculatus</i>	Benteveo rayado	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Myiophobus fasciatus</i>	Mosqueta estriada	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Nyctidromus albicollis</i>	Curiango	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Porphyrio martinicus</i>	Pollona azul	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Progne elegans</i>	Golondrina negra	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Pyrrhura frontalis</i>	Chiripepe común	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Selenidera maculirostris</i>	Arasari chico	AM	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Tachyphonus rufus</i>	Frutero negro	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Thraupis sayaca</i>	Celestino	NA	1	0.2	0.1		1		
	<i>Trogon surrucura</i>	Surucua rojo	NA	1	0.2	0.1	1			1
	<i>Xiphocolaptes albicollis</i>	Trepador garganta blanca	NA	1	0.2	0.1	1			1
Total Aves				449						
Reptiles	<i>Tupinambis teguixin</i>	Lagarto overo	NA	129	98.5	7.2	91	27	4	91
	<i>Clelia clelia</i>	Musurana	NA	1	0.8	0.1	1			1
	<i>Spilotes pullatus</i>	Ñacaná-Hu	VU	1	0.8	0.1	1			1
Total Reptiles				131						

NE = No evaluado; LC = Preocupación menor; NT = Casi amenazado; VU = Vulnerable; CR = En peligro crítico; NA= No amenazado; AM= Amenazado. BN =Bosque nativo; FE = forestaciones de especies exóticas; UR = áreas urbanas; APs = áreas protegidas.

Apéndice 2. Curvas de acumulación de especies al aumentar el esfuerzo de muestreo para: A. mamíferos, B. aves y C. reptiles.

Appendix 2. Species accumulation curves as the sampling effort increases for: A. mammals, B. birds and C. reptiles.



Apéndice 3. Ejemplos de animales atropellados en la Ruta N° 12: A) comadreja overa (*Didelphis albiventris*), B) zorro de monte (*Cerdocyon thous*), C) oso melero (*Tamandua tetradactyla*), D) corzuela grande (*Mazama americana*), E) ocelote (*Leopardus pardalis*), F) tucán (*Ramphastos toco*), G) hurón mayor (*Eira barbara*).

Appendix 3. Some examples of roadkills in Route No. 12: A) white-eared opossum (*Didelphis albiventris*), B) crab-eating fox (*Cerdocyon thous*), C) southern tamandua (*Tamandua tetradactyla*), D) red brocket (*Mazama americana*), E) ocelot (*Leopardus pardalis*), F) toco toucan (*Ramphastos toco*), G) tayra (*Eira barbara*).

