



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Efecto de las carreteras en la mortalidad de vertebrados en un área  
megadiversa: Los Andes Tropicales del Ecuador**

**Tesis previa a la obtención del título de Magister en Biología de la  
Conservación**

**Pablo M. Medrano Vizcaíno**

**Quito, 2015**

Certifico que la tesis de Maestría en Biología de la Conservación del candidato Pablo Mauricio Medrano Vizcaíno ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Santiago Espinosa, Ph.D.

Director de tesis

07 de mayo del 2015

*A mi padre, mi madre y mi hermana: Guillermo Medrano, María Luisa Vizcaíno y Ana Medrano, para ustedes, por todo!*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Santiago Espinosa por la dirección de este trabajo. El haber compartido sus conocimientos conmigo, su amistad, apoyo y confianza fueron pilares fundamentales para que esta investigación sea posible.

A la PUCE, ECOCIENCIA y ECOFONDO por el financiamiento brindado y la divulgación de los resultados de esta investigación, aspecto que considero esencial para que la ciencia sea accesible a un gran número de personas y se fomente un pensamiento crítico enmarcado en la búsqueda del conocimiento.

A David Brito y Luis López por su asistencia en el campo, vivimos días cansados, emocionantes y sobretodo peligrosos, con riesgo de ser parte de los datos, pero lo logramos.

A Andrés Merino, Verónica Crespo y Santiago Burneo por haber colaborado en la edición de este documento, sus comentarios fueron muy importantes para este resultado final.

A mi familia: Guillermo, María Luisa, Anita, Lola, Cami, Estefy, Cristian, Diego, Jonathan, tíos y primos por todos los momentos, en tristezas y alegrías siempre juntos.

A Scrofy, Anre, Pame, Sanrrita, Walberto, Carlitos, Snoopy, Saul, Pam, Mafer, Gaby, Katy, Carito, Lucho, Edy por todas las vivencias, siempre tendremos nuevas cosas para reír y seguir compartiendo.

Al museo QCAZ de herpetología de la PUCE por haber colaborado en la identificación de algunas serpientes, entre esas, una posible nueva especie.

A todos mis amigos, compañeros y profesores de pregrado y maestría, por compartir conmigo esta pasión tan grande que tengo por la biología, esta ciencia que me da tantas fuerzas y me impulsa con tanto ímpetu a seguir involucrado en la investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	V
TABLA DE CONTENIDOS.....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABLAS.....	X
LISTA DE ANEXOS .....	XI
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN .....	4
4. MÉTODOS.....	8
4.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	8
4.2 MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS .....	8
4.3 ANÁLISIS DE LOS ATROPELLAMIENTOS DE FAUNA EN FUNCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PAISAJE.....	9
4.3.1 DISTANCIA A ATRIBUTOS DEL PAISAJE Y MORTALIDAD DE FAUNA ...	9
4.3.2 ASOCIACIÓN DE MORTALIDAD DE FAUNA Y PAISAJE CIRCUNDANTE .....	11
4.4 MEDICIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR COMO VARIABLE QUE PUEDE ESTAR ASOCIADA A LA MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS.....	11
4.5 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CLAVE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	11
5. RESULTADOS .....	13
5.1 MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS .....	13
5.2.1 ATRIBUTOS DEL PAISAJE CIRCUNDANTE DE CARRETERAS Y MORTALIDAD DE FAUNA .....	13
5.2.2 ASOCIACIÓN DE MORTALIDAD DE FAUNA Y PAISAJE CIRCUNDANTE .....	14
5.4 ÁREAS CLAVE PARA UBICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN .....	14
6. DISCUSIÓN.....	16
6.1 MORTALIDAD DE FAUNA .....	16
6.2 COMPONENTES DEL PAISAJE Y MORTALIDAD DE FAUNA.....	19
6.3 ÁREAS CLAVE PARA MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	21
7. LITERATURA CITADA.....	24

8. FIGURAS .....	32
9. TABLAS.....	36
10. ANEXOS.....	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio .....	33
Figura 2. Total de atropellamientos de órdenes de vertebrados en cada tipo de paisaje .....	34
Figura 3. Conglomerados de atropellamientos en tres escalas de paisaje .....	35

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los tipos de paisaje a cada lado de la vía.....	37
Tabla 2. Parámetros de los mejores modelos para cada grupo de fauna.....	37
Tabla 3. Selección de los mejores modelos para predecir la mortalidad de vertebrados en función de variables de paisaje.....	38
Tabla 4. Identificación de variables más importantes en la predicción de mortalidad de vertebrados.....	40

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Registro de información en campo .....	43
Anexo 2. Lista de especies atropelladas .....	43
Anexo 3. Comparación de la distancia media desde sitios con atropellamientos (1) y sin atropellamientos (0) a las variables más importantes .....	45
Anexo 4. Fotografías de vertebrados atropellados .....	47

## 1. RESUMEN

La mortalidad de fauna de vertebrados debido a la colisión con vehículos es un impacto humano poco estudiado en áreas de alta biodiversidad. El presente estudio tuvo lugar en las estribaciones nororientales de los Andes ecuatorianos, una región que corresponde a uno de los *hotspots* más biodiversos a nivel mundial, los Andes Tropicales. Se contabilizaron los atropellamientos de fauna silvestre durante un periodo de seis meses en tres segmentos de carreteras aledañas a tres áreas protegidas: Reserva Ecológica Antisana, Parque Nacional Sumaco Napo Galeras y el Parque Nacional Cayambe Coca. Adicionalmente, se evaluó el efecto del tráfico vehicular y atributos del paisaje en la mortalidad de vertebrados en carreteras por medio de correlaciones y regresión logística, donde la mortalidad fue predicha por las distancias de atropellamientos a vegetación remanente, poblados, ríos y quebradas. Se recorrieron 7 128 km en 72 días de muestreo donde se encontraron 452 individuos atropellados que se repartieron en 43 anfibios, 88 reptiles, 107 aves y 214 mamíferos. En total, los organismos atropellados correspondieron a 46 especies de fauna silvestre. Los órdenes de vertebrados con mayor porcentaje de atropellamiento fueron: Didelphimorphia (35%), Squamata (19%) y Passeriformes (17%). Los resultados muestran que la distancia a la vegetación remanente es la variable más influyente para la mortalidad de aves, reptiles y mamíferos (exceptuando zarigüeyas), mientras que para anfibios, las variables más importantes son la distancia a ríos y la distancia a quebradas (intersecciones entre vía y ríos). Además, se evidenció que para la mayoría de órdenes de vertebrados, los atropellamientos fueron más frecuentes en áreas de carretera que colindan con zonas de pastoreo. Se sugieren sitios de la zona de estudio donde, debido a sus atributos paisajísticos, sería útil implementar medidas de manejo como señalética y pasos de fauna para reducir la mortalidad de fauna por atropellamiento.

**Palabras clave:** Atropellamiento de fauna, conservación de fauna silvestre, ecología de carreteras.

## 2. ABSTRACT

Wildlife roadkill due to vehicle collision is a human impact that has not been studied enough in areas with high biodiversity. This study was carried out in the northeastern foothills of the Ecuadorian Andes, a region that belongs to one of the most biodiverse *hotspots* in the world, the Tropical Andes. For six months, wildlife roadkills were counted in three roads adjacent to three protected areas: Antisana Ecological Reserve, Sumaco Napo Galeras National Park and Cayambe Coca National Park. The effect of vehicle traffic and landscape attributes in vertebrates mortality was assessed with correlations and logistic regression, where the mortality was predicted by the distance from the roadkill sites to remnant vegetation, towns, rivers and ravines. There were covered 7,128 km in 72 sampling days where 452 dead animals were found, corresponding to 43 amphibians, 88 reptiles, 107 birds and 214 mammals. The carcasses belonged to 46 wildlife species. The vertebrates orders with the highest percentage of mortality were: Didelphimorphia (35%), Squamata (19%) and Passeriformes (17%). The results show that the distance to the remnant vegetation is the most important variable for the mortality of birds, reptiles and mammals (except for opossums), meanwhile for amphibians, the most important variables were the distances to rivers and ravines (intersections between rivers and roads). For most of the vertebrates orders, the collisions occurred frequently in areas surrounding pasturelands. There were sites in the study area where roadkills are high, and therefore, management measures such as signaling and wildlife passages could be implemented to reduce vertebrate mortality

**Key words:** Road ecology, roadkill, wildlife conservation.

### 3. INTRODUCCIÓN

La comprensión y resolución de algunos de los principales retos ambientales contemporáneos en la conservación del patrimonio natural y cultural requiere de una perspectiva científica transdisciplinaria, la cual es abordada por la ecología del paisaje (Vila *et al.*, 2006). Dentro de este marco se contextualiza la ecología de carreteras, explorando y abordando la relación entre el ambiente natural y el sistema de carreteras (Forman *et al.*, 2003). El transporte es otro aspecto que se vincula a esta temática, tanto los negocios como los individuos dependen de la seguridad y eficiencia de la movilidad. Desafortunadamente, esta dependencia en las carreteras y vehículos implica un amplio y profundo daño ambiental (Forman *et al.*, 2003).

Los efectos ecológicos más significativos que producen las carreteras son: fragmentación de ecosistemas, dispersión de especies exóticas, disminución de las poblaciones de especies de flora y fauna nativa, alteración del ciclo hidrológico, cambios microclimáticos, producción de material particulado y de ruido y contaminación de agua y suelo (Forman *et al.*, 2003, Arroyave *et al.*, 2006, Coffin, 2007). Las estructuras viales representan una barrera para la dispersión y el movimiento de la fauna silvestre (Rosell *et al.*, 2002, Forman *et al.*, 2003), además, debido a que la mortalidad por atropellamientos puede provocar una reducción en la abundancia y conectividad de poblaciones, se espera un efecto negativo de las carreteras en la diversidad genética (Jackson y Fahrig, 2011).

La mortalidad de fauna debido a la colisión con vehículos es un impacto negativo para la biodiversidad a nivel global. Estimaciones de muerte por atropellamiento revelan que anualmente han perecido 159 000 mamíferos y 653 000 aves en Holanda; siete millones de aves en Bulgaria; cinco millones de sapos y reptiles en Australia, mientras que en Estados Unidos se estima que han muerto un millón de vertebrados por día en las carreteras

(Forman y Alexander, 1998).

El atropellamiento vehicular es una de las principales causas de mortalidad para muchas especies de mamíferos amenazadas (Harris y Gallagher, 1989). Esto es evidente en algunas regiones del mundo, por ejemplo, en el sur este de Asia se reportó que 16 carreteras existentes y ocho en planificación amenazan potencialmente al 21% de 117 mamíferos en peligro de extinción (Clements *et al.*, 2014), mientras que más del 50 % de la mortalidad de la pantera de Florida (*Felis concolor*) ha sido a causa de atropellamientos vehiculares (Harris y Scheck, 1991; Harris y Gallagher, 1989).

Los grupos faunísticos más afectados por los atropellamientos varían con la región geográfica. Por ejemplo, en el istmo de Tehuantepec (México), los anfibios y reptiles fueron reportados como los grupos más afectados por atropellamiento; representaron el 62,5 % de la fauna total atropellada, siendo el sapo *Rhinella marina* la especie con mayor índice de muerte (Grosselett *et al.*, 2007). Por otro lado, en el valle de El Paular (España) las aves fueron el grupo de vertebrados más afectado con el 35% de atropellamientos (Espinosa *et al.*, 2012).

El atropellamiento es una señal obvia de impacto ambiental del ser humano en la fauna y los factores que lo explican varían ampliamente entre especies y taxa (Hobday y Minstrell, 2008). El índice de atropellamiento y su frecuencia están relacionados con factores como el flujo vehicular, la velocidad, el ancho de la vía, el comportamiento de las especies y la cobertura vegetal (Arroyave *et al.*, 2006). Asimismo, la fauna silvestre suele estar relacionada con determinados hábitats y tipos de uso del suelo, por lo tanto se esperaría que los patrones espaciales jueguen un rol importante en la determinación de sitios y tasas de atropellamiento (Forman y Alexander 1998, Clevenger *et al.*, 2003).

El impacto de las carreteras en la mortalidad de fauna puede ser mitigado por medio de algunas medidas de manejo, las cuales son dependientes del tipo de animal que abunda en el entorno, el tipo de vía y las características del sitio. En Suecia, el uso de vallados a lo largo de vías redujo el atropellamiento de alces en un 60 a 70%, mientras que en Eslovenia se probaron dispositivos acústicos de disuasión y se observó que los atropellamientos de ungulados disminuyeron en un 60 y 80% (RACC 2011, Puc-Sánchez *et al.*, 2013). En Holanda se demostró que la señalización en las vías es inefectiva, sin embargo la aplicación de señales luminosas que son activadas por medio de sensores de calor cuando los animales cruzan las carreteras, demostró ser efectiva (RACC 2011). En países como Alemania, Francia, Holanda y Suiza se comprobó que la implementación de pasos de fauna elevados es una de las medidas más efectivas para una amplia variedad de animales, desde insectos hasta grandes carnívoros, proporcionando un lugar seguro para mantener la conectividad funcional de los organismos (Pfister *et al.*, 1999, Bank *et al.*, 2002, Forman *et al.*, 2003). Sin embargo, el elevado costo de construir pasos de fauna restringe el uso de esta herramienta, en especial en países con economías limitadas, como la mayoría de países en regiones tropicales.

En el Ecuador continental, no existen estudios previos y sistemáticos que evalúen la mortalidad de fauna silvestre a lo largo de las carreteras. En las islas Galápagos se investigaron las causas de mortalidad de aves silvestres, reportando que de 187 individuos muertos, 106 provenían de atropellamientos en la vía principal entre la costa norte y sur de Santa Cruz (Gottdenker *et al.*, 2008). Otra investigación en la misma isla reportó la muerte de 35 lagartijas de lava (*Microlophus albemarlensis*) por atropellamiento en un mes de estudio (Tanner *et al.*, 2007). En ningún caso se realizó un análisis para evaluar la relación entre atributos del paisaje y la mortalidad de estas especies. Esto es importante pues factores como la vegetación y la fisonomía del paisaje se relacionan con la composición,

abundancia y selección de hábitat de las especies y consecuentemente con patrones espaciales de mortalidad de fauna en carreteras (Storch y Frynta, 1999; da Rosa y Bager, 2012).

El efecto de las carreteras sobre las poblaciones de vertebrados que discurren por espacios naturales protegidos se incrementa debido a la mayor diversidad y densidad de animales allí existentes (Rico *et al.*, 2011). En estas zonas especialmente importantes para la conservación de la biodiversidad, el estudio del efecto de las carreteras sobre las poblaciones de vertebrados es incluso más relevante. El presente estudio se ubica dentro de uno de los *hotspots* más biodiversos del mundo, los Andes Tropicales (Myers *et al.*, 2000).

El objetivo general de este estudio es evaluar el impacto de las carreteras en la mortalidad de fauna silvestre en tres segmentos de vía de la Provincia de Napo. Los objetivos específicos de esta investigación son: (1) Determinar la frecuencia de atropellamientos de fauna de vertebrados; (2) Evaluar el efecto de atributos del paisaje (e.g., vegetación remanente, ríos, quebradas, poblados) y tráfico vehicular en la mortalidad de vertebrados por atropellamiento; y, (3), identificar sitios clave en la zona de estudio donde se deberían implementar sistemas para atenuar la mortalidad de fauna.

## **4. MÉTODOS**

### **4.1 ÁREA DE ESTUDIO**

El estudio se realizó en la Provincia de Napo, en los cantones: Quijos, El Chaco y Archidona, en un área de 99 km que comprendió tres tramos de las carreteras E20 y E45 que se ubican entre las áreas protegidas Reserva Ecológica Antisana, Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras y Parque Nacional Cayambe-Coca (Figura 1). El área de estudio está rodeada de zonas de Bosque siempreverde montano bajo del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes y Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (MAE, 2013). La matriz del paisaje que bordea la carretera está compuesta por áreas de pastoreo, cultivos, bosque, arbustos y poblados. Aproximadamente 23 km de vía se encuentran aledaños a áreas boscosas, los 76 km restantes corresponden a áreas intervenidas con poblados y suelos con fines agropecuarios. De acuerdo a datos de la Estación meteorológica Papallacta, la precipitación media anual es de 1514,7 mm y la temperatura media anual es de 10,4 ° C (INAMHI, 2014). La altitud del área de estudio se ubica entre los 1 476 m en la vía Baeza – Chaco y 2 995 m en la vía Baeza - Papallacta.

### **4.2 MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS**

Desde marzo hasta agosto del 2014, por 72 días, se revisaron tres segmentos de las carreteras: Baeza-Papallacta, Baeza-El Chaco y Baeza-Cotundo, cada uno de 33 km de longitud, donde se colectaron e identificaron vertebrados que habían sufrido colisiones con vehículos. Cada segmento fue recorrido en un vehículo particular en ambas direcciones a una velocidad promedio de 40 km/h y deteniéndose donde se detectaba la presencia de algún animal muerto. Los muestreos se organizaron semanalmente, en periodos de dos o tres días seguidos, a excepción de la primera salida, la cual, con la intención de adquirir habilidad para reconocer los cadáveres de animales en descomposición y estimar su tiempo

de muerte, fue realizada por diez días seguidos. Se buscaron cuerpos de animales muertos sobre la carretera y se registró la siguiente información para cada individuo: 1) localización geográfica y altitud con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Garmin en coordenadas UTM Datum WGS 84 (Anexo 1); 2) nivel taxonómico, procurando la identificación de especie. Para realizar la identificación se tomaron fotografías de todos los animales atropellados, se colectaron individuos cuya identificación no pudo ser determinada en campo y posteriormente, mediante revisión de literatura especializada (e.g., Ridgely y Greenfield, 2001; Tirira, 2007; Albuja *et al.*, 2012; Valencia y Garzón, 2011) se identificaron los individuos. Una vez analizados, los cadáveres fueron removidos de la carretera para evitar doble conteo.

#### **4.3 ANÁLISIS DE LOS ATROPELLAMIENTOS DE FAUNA EN FUNCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PAISAJE**

Para evaluar la relación del paisaje circundante en la mortalidad de fauna en las carreteras se hicieron dos análisis:

##### **4.3.1 DISTANCIA A ATRIBUTOS DEL PAISAJE Y MORTALIDAD DE FAUNA**

Se evaluaron los atropellamientos en función de variables como: a) distancia al río más cercano, b) distancia al poblado más cercano, c) distancia a la quebrada más cercana (intersecciones entre vía y ríos) y d) distancia a vegetación remanente más cercana. Se consideraron estas variables para entender los efectos de la disponibilidad de recursos, refugio e intervención humana en la mortalidad de fauna, tomando en cuenta que: los ríos y vegetación remanente se relacionan con la disponibilidad de recursos (agua y alimento), la presencia de poblados está relacionada con áreas de intervención humana y las quebradas podrían actuar como refugio sirviendo de pasos de fauna naturales. Para este análisis se creó una capa de puntos de atropellamiento (coordenadas UTM) tomados en campo y se calcularon las distancias desde cada punto a las cuatro variables predictivas por medio de

un sistema de información geográfica (Quantum GIS 1.8.0-Lisboa, Quantum GIS Development Team, 2012). Para esto último se usaron las capas de: a) vegetación remanente, basada en el Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (MAE, 2013) y b) red estatal vial, c) poblados y d) ríos, del Instituto Geográfico Militar a una escala 1:250 000.

Por medio de una regresión logística se compararon los puntos de atropellamiento con un igual número de puntos distribuidos al azar en la carretera, y que simularon sitios donde no hubo atropellamientos durante el tiempo de estudio. Los puntos al azar fueron asociados con las mismas variables predictivas que los puntos de atropellamiento. Se realizaron regresiones logísticas para cada clase de vertebrados. Sin embargo para los mamíferos se usaron dos conjuntos de datos, uno excluyendo a zarigüeyas (*Didelphis pernigra*) y otro únicamente con esta especie. Esta división de datos de los mamíferos se hizo porque las zarigüeyas representaron una gran proporción de los atropellamientos, por lo que pueden confundir los resultados respecto a las demás especies. Para cada grupo de vertebrados se realizaron quince regresiones logísticas con todas las combinaciones posibles de las variables predictivas. Se seleccionó el mejor modelo para cada grupo analizado por medio del Criterio de Información de Akaike (AIC) y se identificó la variable más importante por medio de la sumatoria de los pesos de AIC ( $AIC_w$ ) de cada variable en los modelos donde fue incorporada. Adicionalmente, para conocer cómo influye la proximidad de las variables más importantes en la distribución de los atropellamientos, se comparó para cada grupo de fauna las distancias entre los sitios de presencia y ausencia de atropellamientos a dichas variables. Este análisis fue realizado mediante una prueba T de Student con el programa PASW-Statistics 18 (SPSS, 2009).

#### **4.3.2 ASOCIACIÓN DE MORTALIDAD DE FAUNA Y PAISAJE CIRCUNDANTE**

Para conocer la relación entre el paisaje circundante y la cantidad de atropellamientos, se categorizó el paisaje de ambos lados de los sitios de atropellamiento como: zona de pastoreo, poblado, bosque, arbustos y zona de cultivos (Tabla 1). Con esta información se cuantificó la frecuencia de atropellamientos de cada orden de vertebrados en cada categoría de paisaje.

#### **4.4 MEDICIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR COMO VARIABLE QUE PUEDE ESTAR ASOCIADA A LA MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS**

Para analizar la influencia del tráfico vehicular en la mortalidad de vertebrados, se realizaron conteos manuales de vehículos que transitan por la vía por lapsos de quince minutos al inicio y final de los recorridos en cada tramo. Se asumió que el tráfico vehicular es similar en periodos de hasta 48 horas, por lo tanto se consideraron únicamente a individuos que tenían un tiempo estimado de muerte de uno o dos días. Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para relacionar los datos de tráfico vehicular con la cantidad de atropellamientos para cada tramo de vía (Cotundo, El Chaco y Papallacta).

#### **4.5 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CLAVE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

Para identificar sitios donde sería útil la ubicación de medidas de mitigación que reduzcan mortalidad de fauna se realizaron análisis de agrupamiento por medio de mapas de calor a tres escalas paisajísticas (100 m, 300 m y 500 m). El mapa de calor es una representación visual de la densidad de puntos de entrada, donde las áreas de mayor concentración de puntos presentan valores más altos. Estos mapas fueron elaborados en base a los puntos de atropellamiento tomados en campo, donde se identificaron como puntos rojos (áreas de mayor concentración de atropellamientos) a tramos de vía que tenían diez o más atropellamientos. Estos sitios fueron identificados como áreas clave para ubicar sistemas

que mitiguen el atropellamiento de fauna. Este análisis se realizó en general para todos los vertebrados y por clases, igualmente dividiendo a los mamíferos en dos grupos (mamíferos sin zarigüeyas y zarigüeyas) mediante el programa Quantum GIS 1.8.0-Lisboa (Quantum GIS Development Team, 2012).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS

Se recorrieron un total de 7 128 km en 72 días donde se encontraron 452 animales silvestres muertos, lo que corresponde a 0,063 individuos/km. Los grupos más afectados en orden de importancia fueron los mamíferos (n=214; 47,35%), aves (n=107; 23,67%), reptiles, que en su totalidad fueron serpientes (n=88, 19,47%) y anfibios (n=43; 9,51%). La especie más impactada fue la zarigüeya *Didelphis pernigra* (n=157; 34,73%) (Anexo 2). La información muestra que en el tramo Baeza - El Chaco existió la mayor mortalidad de vertebrados por atropellamientos (n=196; 43,36%), seguido de Baeza – Cotundo (n=150; 33,19 %) y Baeza – Papallacta (n=106; 23,45 %).

#### 5.2.1 ATRIBUTOS DEL PAISAJE CIRCUNDANTE DE CARRETERAS Y MORTALIDAD DE FAUNA

Para anfibios, el mejor modelo incluyó a dos variables: distancia a río más cercano y distancia a quebradas ( $AIC_w=0,5$ ); ambas variables fueron las más importantes para explicar el atropellamiento de anfibios (Tablas 2, 3A y 4A). Los puntos de atropellamiento de anfibios estuvieron más alejados de los ríos que los puntos sin atropellamiento ( $p=0,027$ ) (Anexo 3A), mientras que la diferencia de distancias entre sitios de atropellamiento y sin atropellamiento a las quebradas no fue significativa.

Tanto para aves, reptiles y mamíferos sin zarigüeyas, el mejor modelo para explicar la mortalidad de vertebrados incluyó únicamente la variable distancia a vegetación remanente (Tablas 2, 3B, 3C, 3D, 4B, 4C y 4D). Los valores de  $AIC_w$  para cada uno de estos tres mejores modelos oscilaron entre 0,99 y 1. Las demás variables de paisaje analizadas (distancia a poblados, distancia a ríos y distancia a quebradas) no contribuyeron a la predicción de la mortalidad de estos grupos de vertebrados. Asimismo, para cada uno de

estos grupos de fauna, la distancia media desde los puntos de atropellamiento a la vegetación remanente fue mayor que la distancia media desde los puntos sin atropellamiento. La diferencia entre las distancias para cada grupo de fauna fue altamente significativa ( $p=0,000$ ) (Anexos 3B, 3C y 3D).

Para las zarigüeyas no se encontró una asociación significativa entre las variables predictivas y su mortalidad.

Por otro lado, no existió correlación entre el tráfico vehicular y la mortalidad de vertebrados para los tres segmentos de vía.

### **5.2.2 ASOCIACIÓN DE MORTALIDAD DE FAUNA Y PAISAJE CIRCUNDANTE**

Se observó que la categoría ZP (Zona de pastoreo) tuvo la mayor cantidad de atropellamientos ( $n=183$ ; 40%), seguida de la categoría B/ZP (Bosque/Zona de pastoreo) en la que ocurrieron 93 atropellamientos (20%), mientras que la categoría ZC/P (Zona de cultivo/Poblado) mostró la menor cantidad de atropellamientos ( $n=1$ ; 0,22 %) (Figura 2).

### **5.4 ÁREAS CLAVE PARA UBICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

A una escala de análisis de 100 m no se encontraron puntos rojos (Figura 3A); al aumentar la escala de análisis a 300 m se observó un punto rojo que incluyó once atropellamientos (Figura 3B; P1), que incluyeron seis zarigüeyas, dos serpientes (familia Colubridae), dos aves (un Passeriforme y un Accipitriforme) y un murciélago. Este conglomerado se ubicó en la vía Baeza – El Chaco en un área rodeada por zonas de pastoreo y cultivos.

Al aumentar la escala de análisis a 500 m se identificaron tres puntos rojos (Figura 3C). El primero fue el mismo que se observó a 300 m, sin embargo a esta escala se encontraron 21 individuos atropellados, siendo estos: ocho zarigüeyas, ocho serpientes (seis *Atractus sp.* y dos individuos no identificados de la familia Colubridae), tres aves (dos Passeriformes, un Accipitriforme), una ardilla (*Microsciurus flaviventer*) y un murciélago no identificado,

igualmente la cobertura colindante con este punto rojo era dominada por zonas de pastoreo y cultivos. El segundo punto rojo se ubicó en la vía Baeza-Chaco, cercano a la Y de Baeza en un área colindante con zonas de pastoreo, aquí se encontraron diez individuos muertos: cinco zarigüeyas, dos serpientes (*Atractus sp.*) y tres aves (*Notiochelidon cyanoleuca*, *Cyanocorax yncas* y un individuo no identificado del orden Passeriformes). El tercer punto rojo fue encontrado en la vía Baeza-Cotundo en un área dominada por zonas de pastoreo, aquí se reportaron once atropellamientos: cuatro cecílicos (*Caecilia sp.*), tres zarigüeyas, tres aves (*Zonotrichia capensis* y dos individuos no identificados de las familias Trochilidae y Turdidae) y un murciélago no identificado.

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1 MORTALIDAD DE FAUNA

Considerando que este estudio se efectuó en un área total de 99 km, la tasa de mortalidad encontrada (0,063 individuos/km/día) fue mayor que lo reportado por otras investigaciones en el neotrópico con áreas de estudio de mayor tamaño. En Goiás, Brasil, en un área de 216 km, la mortalidad de fauna fue de 0,014 individuos/km/día (Cunha *et al.*, 2010) y en el bosque Atlántico de Brasil, en un área de 180,4 km, fue de 0,001 individuos/km/día (Freitas *et al.*, 2013), sin embargo fue menor que en el estado de Portuguesa en Venezuela, donde, en un área de 80 km, se encontraron 0,22 individuos/km/día (Seijas *et al.*, 2013). Por otro lado, la riqueza de especies (46 especies) fue mayor que en Goiás, Brasil, donde se encontraron 25 especies en un área de 216 km (Cunha *et al.*, 2010), pero menor a lo encontrado en Corea del Sur (101 especies en 107 km) (Seo *et al.*, 2013).

Al igual que algunos estudios realizados en Brasil (Freitas *et al.*, 2013; Cunha *et al.*, 2010), los mamíferos fueron el grupo más afectado, sin embargo, en estudios de Venezuela, Argentina y España, los anfibios y reptiles son las clases de vertebrados más atropelladas (Seijas *et al.*, 2013; González-Prieto *et al.*, 1993; Attademo *et al.*, 2011). En este estudio, la zarigüeya fue la especie más atropellada (0,02 individuos/km/día). En Ecuador, esta especie es común, la poca selectividad de su dieta y la amplia variedad de hábitats que visita, permite que sea abundante en algunas áreas (Tirira, 2007). En el estudio realizado por Delgado (2007) en Antioquia, Colombia, se explica que la abundancia de esta especie en la región podría explicar la alta cantidad de atropellamientos. Además, está asociada a poblaciones humanas localizadas en zonas aledañas a carreteras, lo cual incrementa la posibilidad de atropellamientos (Carvajal y Díaz, 2013).

Las serpientes fueron el segundo grupo más afectado (0,01 individuos/km/día), siendo mayor que la mortalidad reportada en el bosque Atlántico de Brasil en un área de 180,4 km (0,00007 individuos/km/día) (Freitas *et al.*, 2013) pero menor que lo encontrado en Quindío, Colombia en un área de 6,4 km (0,1 individuos/km/día) (Quintero-Angel *et al.*, 2012). Además, previo análisis de especialistas del área de herpetología del Museo QCAZ de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, se encontró una posible nueva especie del género *Atractus* (Anexo 4A), lo cual es preocupante porque al no poseer información sobre historia natural y estado de conservación, resulta incierto saber la magnitud del impacto que tienen las carreteras sobre las poblaciones de esta especie y en general de toda la fauna silvestre, además se ignora si casos similares pudieran estar sucediendo en otras regiones del país, posiblemente perdiendo biodiversidad desconocida para la ciencia. Es probable que la alta incidencia de atropellamientos de serpientes se debe a que estos animales ectotermos son atraídos por el calor del asfalto donde suelen reposar en días soleados, aumentando así las posibilidades de que sean atropellados (Romero *et al.*, 2012), además sus movimientos son lentos y su ámbito hogareño abarca áreas de tamaño mediano y grande para buscar alimento, refugio y apareamiento (Green, 1997; Zug *et al.*, 2007).

En cuanto a las aves (Anexo 4B), la frecuencia de atropellamiento en nuestro estudio (0,02 individuos/km/día), fue mayor que lo encontrado en Goiás, Brasil en un área de 216 km (0,001 individuos/km/día) (Cunha *et al.*, 2010) pero menor a lo encontrado en Veracruz, México en un área de ocho km (0,04 individuos/km/día) (Morales *et al.*, 1997). El impacto sobre las aves puede deberse a que ciertas especies ingieren granos de arena del borde de la carretera para lograr una mejor digestión de las semillas, además, se acercan a la vía para ingerir residuos orgánicos arrojados desde los vehículos (Nigro y Lodeiro, 2009). Otro factor es que el calor de las carreteras atrae a los insectos, por lo que se esperaría que las

aves que usan este recurso también sean susceptibles de ser golpeadas por vehículos (Bergmann, 1974).

La mayor cantidad de anfibios atropellados en nuestro estudio correspondieron a *Caecilia* sp. (n=34) (Anexo 4C), hecho que difiere de investigaciones realizadas en otros países de América del sur como Argentina, Colombia, Venezuela y Brasil, donde no se reporta mortalidad de estos animales (Attademo *et al.*, 2011; Vargas-Salinas *et al.*, 2011; Seijas *et al.*, 2013; Cunha *et al.*, 2010). Este es un dato curioso, pues los cecílicos son especies generalmente poco estudiadas debido a que son difíciles de encontrar.

Las diferencias de resultados entre diferentes investigaciones se explican por las metodologías aplicadas y las características de las áreas de estudio (altitud, latitud, clima, tipos de hábitats, composición faunística y tipo de carretera) (Cunha *et al.*, 2010; Seijas *et al.*, 2013). Esto es evidente incluso dentro del área de estudio de esta investigación, donde, la mortalidad fue diferente en las distintas vías considerando los pisos zoogeográficos del Ecuador (Albuja *et al.*, 1980). Se registró la mayor mortalidad en la vía El Chaco-Baeza (n=196), que corresponde al piso zoogeográfico subtropical oriental, el cual se encuentra en las estribaciones externas de la cordillera oriental de los Andes entre los 1 000 y 2 000 m. Mientras que la menor mortalidad se encontró en la vía Papallacta-Baeza (n=106), ubicada en el Piso zoogeográfico templado y que corresponde a los declives externos y estribaciones internas de la cordillera de los Andes entre los 1 800 y 3 000 m (Albuja *et al.*, 2012).

Si el promedio de atropellamientos diario de esta investigación (6,27 individuos/día de muestreo) se mantuviera constante, se estimaría que anualmente son atropellados 2291 animales en el área de estudio. Además es posible que la estimación de muerte de vertebrados sea mayor, pues factores como el clima, volumen de tráfico vehicular,

visibilidad del cadáver, abundancia de predadores y carroñeros podrían afectar la precisión de la cuantificación de mortalidad de fauna (Santos *et al.*, 2011). Asimismo, haber realizado el trabajo de campo mediante recorridos motorizados, podría subestimar la mortalidad de vertebrados pequeños. También es importante mencionar que la muestra incluye una mínima fracción de las especies que podrían ser atropelladas en una zona megadiversa que abarca dos pisos zoogeográficos. En el piso zoogeográfico templado, viven aproximadamente 83 especies de mamíferos, 488 especies de aves, 43 especies de anfibios y en el piso subtropical oriental existen aproximadamente 560 especies de aves, 143 especies de mamíferos, 20 especies nativas de reptiles y 68 especies de anfibios (Albuja *et al.*, 2012). Por ejemplo, se observaron animales como *Eira barbara* y *Cryptotis sp.* cruzando la vía, sin embargo no se encontraron registros de atropellamiento.

## **6.2 COMPONENTES DEL PAISAJE Y MORTALIDAD DE FAUNA**

Los resultados muestran que los atropellamientos para la mayoría de órdenes de vertebrados son más frecuentes en tramos de vía colindantes con zonas de pastoreo. Tanto para el caso de aves, reptiles y mamíferos sin zarigüeyas, la frecuencia de atropellamientos fue mayor en áreas colindantes con zonas de pastoreo y distantes de vegetación remanente. Esto difiere de lo encontrado en Orense, España, donde se reportó mayor mortalidad de fauna en áreas naturales y menor mortalidad en hábitats más alterados (González-Prieto *et al.*, 1993). Sin embargo, es coincidente con algunos resultados de investigaciones en Sudamérica. En el bosque Atlántico de Brasil, se registró mayor mortalidad en sitios asociados a vegetación herbácea (Freitas *et al.*, 2013) y en Quindío, Colombia, la mortalidad de serpientes no tuvo relación con la presencia de bosques remanentes pero sí con pastizales (Quintero-Angel *et al.*, 2012). La mayor mortalidad de serpientes en sitios colindantes con zonas de pastoreo, como se reporta en el presente estudio, se debe a que los reptiles usan áreas abiertas para la termorregulación y encuentran dicha condición en

sitios con este tipo de cobertura, mientras que algunos mamíferos podrían usar estas zonas como hábitat y otros atraviesan estos espacios para llegar a fragmentos de bosque siendo susceptibles de atropellamiento cuando cruzan la vía (Freitas *et al.* 2013).

La distancia a ríos fue importante únicamente para explicar el atropellamiento de anfibios, al contrario de lo reportado en Brasil donde la proximidad a ríos está asociada con la mortalidad de todas las especies de fauna (Freitas *et al.*, 2013). Se reporta mayor mortalidad de anfibios en zonas alejadas de ríos, en contraste de lo encontrado en Corea del Sur donde los atropellamientos de anfibios estuvieron asociados a sitios cercanos a cuerpos de agua (Seo *et al.*, 2013).

Posiblemente se encontró mayor cantidad de atropellamientos de fauna en sitios distantes a vegetación o cuerpos de agua y colindantes con zonas de pastoreo porque la falta de recursos alimenticios y disponibilidad de hábitat incide en la decisión de los animales de cruzar las vías para buscar alimento o refugio, al contrario de la fauna que se encuentra en áreas mejor conservadas, que no tendrían necesidad de desplazarse a otros sitios. Seguramente, para los anfibios (especialmente para Gymnophiona), las condiciones favorables de hábitat se relacionan con cuerpos de agua, mientras que para aves, reptiles y mamíferos sin zarigüeyas lo más importante para que el hábitat presente condiciones favorables es la disponibilidad de vegetación.

Por otro lado, el tráfico vehicular no fue una variable importante para explicar la mortalidad de fauna, resultado coincidente con Clevenger *et al.* (2003). Sin embargo, se asume que un conteo de tráfico vehicular en tiempo real y constante durante todo el tiempo de la investigación, podría explicar alguna relación entre el tráfico vehicular y la

mortalidad de fauna, pues el hecho de haber tomado manualmente estos datos en lapsos que posiblemente no correspondieron al momento en el que se produjo la muerte de los individuos, podría interferir en que se encuentre una relación entre la mortalidad con el tráfico vehicular.

### **6.3 ÁREAS CLAVE PARA MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

Los tres puntos rojos identificados incluyeron diferentes clases de vertebrados y fueron visibles en la escala más grande. Muchos estudios sugieren que los atropellamientos no son sucesos aleatorios y que el hallazgo de zonas de mayor concentración de muerte es frecuente (Hubbard *et al.*, 2000). Los puntos rojos de este estudio se ubicaron en áreas colindantes con zonas de pastoreo, diferente a lo reportado en el sur de California, donde los puntos rojos se ubicaron cerca de áreas urbanizadas (Wilson, 2012).

Los puntos rojos son áreas clave para implementar sistemas de mitigación, por lo cual, se sugiere la instalación de medidas como: (1) señalética con sensores de fauna; (2) reductores de velocidad; y, (3) pasos de fauna.

La señalética con sensores de fauna ha demostrado ser una de las medidas más efectivas para evitar el atropellamiento. Estos dispositivos detectan la presencia de animales a una distancia de aproximadamente 250 m y activan una iluminación destellante de señales de advertencia y de limitación de velocidad. Tomando en cuenta que en Suiza se redujo la mortalidad en un 80%, se asume que su implementación en nuestro país podría traer resultados positivos, además su costo es bajo (RACC 2011); por lo que se piensa que su aplicabilidad sería muy factible en las vías de Ecuador.

Por otro lado, la instalación de reductores de velocidad permitiría que los conductores disminuyan la velocidad en estas zonas identificadas como puntos rojos y sea posible

frenar o esquivar con seguridad a la fauna que podría estar cruzando la vía. Sin embargo la factibilidad de esta medida podría estar limitada por el costo de su instalación.

Para el caso de los pasos de fauna (en el caso de lograr su implementación), sería útil que para alejar a los animales de la vía, se siembren plantas no apetecidas por la fauna al borde de la carretera, mientras que en las cercanías a los pasos de fauna se planten especies vegetales que sean apetecidas, así se podría reducir la mortalidad de vertebrados y mantener su conectividad (Bank *et al.*, 2002). Esta medida ha sido implementada en varios países, demostrando ser exitosa para reducir la mortalidad de fauna, sin embargo su factibilidad en nuestro país resulta limitada debido a los altos costos que implica su instalación (Puc-Sánchez *et al.*, 2013).

Es muy importante la intervención de entidades como el Ministerio del Ambiente del Ecuador y el Ministerio de Transporte y Obras públicas para que estas medidas sean implementadas, además se piensa que el apoyo de dichas instituciones sería ideal para la ejecución de programas de monitoreo para localizar puntos rojos de atropellamiento. Posiblemente la instalación de estas medidas conjuntamente con la concienciación ambiental por medio de la divulgación de estudios realizados en torno a la ecología de carreteras, contribuyan a la reducción de la mortalidad de la fauna en las carreteras.

La mortalidad de vertebrados en las carreteras es un problema que requiere atención, siendo importante la realización estudios similares en otras regiones del Ecuador. Este es el primer estudio de mortalidad de vertebrados en el Ecuador continental por lo que la información generada será útil para futuras investigaciones, con cuyos resultados y en base a mayor experiencia y conocimiento se podría tener una comprensión más amplia de los

factores relacionados a esta problemática. Asimismo, se podrían determinar las medidas de manejo más adecuadas para mitigar este impacto en la biodiversidad, además, la generación de este tipo de investigaciones servirán de apoyo para la toma de decisiones en cuanto a futuros proyectos viales.

## 7. LITERATURA CITADA

Albuja, L., Ibarra, M., Urgilés, J. y Barriga, R. 1980. Estudio preliminar de los vertebrados ecuatorianos. Editorial Escuela Politécnica Nacional. Quito.

Albuja, L., Almendáriz, A., Barriga, R., Montalvo, L., Cáceres, F. y Román, J. 2012. Fauna de Vertebrados del Ecuador. Instituto de Ciencias Biológicas. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Arroyave, M., Gómez, C., Gutiérrez, M., Múnera, D., Zapata, P., Vergara, I., Andrade, L., y Ramos, K. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia 5: 45-57.

Attademo, A., Peltzer, P., Lajmanovich, R., Elberg, G., Junges, C., Sanchez, L. y Bassó, A. 2011. Wildlife vertebrate mortality in roads from Santa Fe Province, Argentina. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 915-925.

Bank, F.G., Irwin, C.L., Evink, G.L., Gray, M.E., Hagood, S., Kinar, J.R., Levy, A., Paulson, D., Ruediger, B., Sauvajot, R.M., Scott, D.J., White, P. 2002. Wildlife habitat connectivity across European highways. Technical Report FWHA-PL-02-011. U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

Bergmann, H. 1974. Zur Phänologie and Ökologie des Strassentodes der Vögel. Vogelwelt 95: 1-21.

Carvajal, V. y Díaz, F. 2013. Atropello de Mamíferos Silvestres en la Ruta de acceso al Cantón de Liberia, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Ventana* 7 (1): 12-14.

Clements, G., Lynam, A., Gaveau, D., Yap, W., Lhota, S., Goosem, M., y Laurance, W. 2014. Where and How Are Roads Endangering Mammals in Southeast Asia's Forests?. *PloS one*, 9(12): e115376.

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

Coffin, A. 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15: 396-406.

Cunha, H., Alves, F. y Sousa, S. 2010. Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences. Maringá* 32 (3): 257-263.

da Rosa, C., y Bager, A. 2012. Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. *Journal of environmental management* 97: 1-5.

Delgado, C. 2007. Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquía), Colombia. *Actualidad Biológica* 29 (87): 229-233.

Espinosa, A., Serrano, J. y Montori, A., 2012. Incidencia de los atropellos sobre la fauna vertebrada en el Valle de El Paular. LIC "Cuenca del río Lozoya y Sierra Norte". Munibe (Ciencias Naturales-Natur Zientziak) 60: 209-236.

Forman, R. T. y Alexander. L. E. 1998. Roads and their major ecological effects. Annual Review of Ecology and Systematics 29: 207-231.

Forman, R.T., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A, Cutshall, C., Dale, V., Fahrig, L., France, R., Goldman, C., Heanue, K., Jones, J., Swanson, F., Turrentine, T. y Winter, T. 2003. Road ecology: Science and solutions. Island Press. Washington, DC.

Freitas, S., Sousa, C. y Bueno C. 2013. Effects of landscape characteristics on roadkill of mammals, birds and reptiles in a highway crossing the Atlantic forest in southeastern Brazil. Proceedings of the 2013 International Conference on Ecology and Transportation.

González-Prieto, S., Villarino, A. y Freán, M. 1993. Mortalidad de vertebrados por atropello en una carretera nacional del NO de España. Ecología 7: 375-389.

Gottdenker, N., Walsh, T., Jimenez, G., Betancourt, F., Cruz, M., Soos, C., Miller, E. y Parker, P. 2008. Causes of Mortality of Wild Birds Submitted to the Charles Darwin Research Station, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador from 2002-2004. Journal of wildlife diseases 44: 1024-1031.

Green, H.W. 1997. Snakes, The Evolution of Mystery in Nature. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, USA.

Grosselet, M., Villa, B. y Ruiz, G. 2007. Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores en 1.2 km de carretera en el istmo de Tehuantepec. Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics: 227-231.

Harris, L. y Gallagher, P. 1989. New initiatives for wildlife conservation. The need for movement corridors. En: Anonymous In defense of wildlife: Preserving communities and corridors, pp. 11-34. Washington.

Harris, L. y Scheck, J. 1991. From implications to applications: the dispersal corridor principle applied to the conservation of biological diversity. En: Saunders, D. y Hobbs, R., (Eds.) Nature conservation 2: The role of corridors, pp. 189-220. Chipping Norton: Surrey Beatty & Sons.

Hobday, A. y Minstrell, M. 2008. Distribution and abundance of roadkill on Tasmanian highways: human management options. Wildlife Research 35: 712-726.

Hubbard, M., Danielson, B., y Schmitz, R. 2000. Factors influencing the location of deer-vehicle accidents in Iowa. Journal of Wildlife Management 64 (3):707-713.

IGM (Instituto Geográfico Militar). 2013. Base continua, Actualización enero 2013. Escala 1:250.000. Quito, Ecuador.

INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2010 - 2014. Estación meteorológica Papallacta.

Jackson, N. y Fahrig, L. 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation* 144: 3143-3148.

MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador). 2013. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Quito, Ecuador, Subsecretaría de Patrimonio Natural.

Morales, J., Villa, J., Aguilar, S. y Barragán, L. 1997. Mortalidad de vertebrados silvestres en una carretera asfaltada de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre* 27: 7-23.

Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., da Fonseca, G. y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

Nigro, N. y Lodeiro, N. 2009. Atropellamiento de fauna silvestre en las rutas de la provincia de Misiones, Argentina. Análisis y propuestas preliminares para minimizar su impacto. *Reportes Tigreros. Serie Conservación* (2): 1-19.

Pfister, H., Heynen, D., Georgii, B., Keller, V. y von Lerber, F. 1999. Häufigkeit und Verhalten ausgewählter Wildsauger auf unterschiedlich breiten Wildtierbrücken (Grunbrücken). *Schweizerische Vogelwarte, Sempach, Switzerland*. 49 pp.

Puc-Sánchez, J., Delgado-Trejo, C., Mendoza-Ramírez, E. y Sauzo-Ortuño, I. 2013. Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre de México. *CONABIO. Biodiversitas* 111:12-16.

Quantum GIS Development Team. 2012. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

Quintero-Angel, A., Osorio-Domínguez, D., Vargas-Salinas, F. y Saavedra-Rodríguez, C. 2012. Herpetology Notes 5: 99-105.

RACC (Real Automóvil Club de Cataluña). 2011. Accidentes de tráfico con animales. Análisis de la situación a nivel europeo y español. España, Ministerio del interior-Dirección General de tráfico.

Rico, E., Cantó, J., Terrones, B. y Bonet, A. 2011. Impacto del tráfico rodado en el P. N. del Carrascal de la Font Roja ¿Cómo influyen las características de la carretera en los atropellos de vertebrados?. Galemys 23: 113-123.

Ridgely, R. y Greenfield, P. 2001. The birds of Ecuador. Cornell University Press. New York.

Romero, D., Ferri, F., Báez, J., Real, R. 2012. Informe del efecto de las carreteras sobre los vertebrados. Universidad de Málaga. Encuentros en la biología 5 (137):5-9.

Rosell, C., Álvarez., Cahill, C., Rodriguez, A. y Seiler, A. 2002. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España. Ministerio de Medio Ambiente. 317pp. Madrid.

Santos, S., Carvalho, F. y Mira, A. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. PLoS ONE 6(9): e25383. doi:10.1371/journal.pone.0025383.

Seijas, E., Araujo-Quintero, A. y Velásquez N. 2013. Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela. Revista Biología tropical 61 (4):1619-1636.

Seo, C., Thorne, J., Choi, T., Kwon, H. y Park, C. 2013. Disentangling roadkill: the influence of landscape and season on cumulative vertebrate mortality in South Korea. Landscape and Ecological Engineering 11:87-99.

SPSS. 2009. Statistical Packages for the Social Sciences 18.0. Chicago, IL: SPSS, Inc.

Storch, D. y Frynta, D. 1999. Evolution of habitat selection: stochastic acquisition of cognitive clues? Evolutionary ecology 13: 591-600.

Tanner, D., Lehman, C. y Perry, J. 2007. On the Road to Nowhere: Galápagos Lava Lizard Populations. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 42: 125-132.

Tirira, D. G. 2007. Mamíferos del Ecuador. Guía de campo. Ediciones Murciélago Blanco. Publicación Especial de los Mamíferos del Ecuador 6. Quito.

Valencia, J. y Garzón, K. 2011. Guía de campo de anfibios y reptiles en ambientes cercanos a las estaciones del OCP. Fundación Herpetológica Gustavo Orcés, Fondo Ambiental Nacional. Quito, Ecuador.

Vargas-Salinas, F., Delgado-Ospina, I. y López-Aranda, F. 2011. Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. *Caldasia* 33(1):121-138.

Vila, J., Varga, D., Llausás, P. y Ribas, A. 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (Landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 48, 151-166.

Wilson, D. 2012. Hotspot analysis of roadkill in Southern California: a GIS approach. Tesis Doctoral, California State University, Northridge, Estados Unidos.

Zug, G., Vitt, L., y Caldwell, J. 2007. *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*, 2nd Edition. San Diego, California, Academic Press.

## 8. FIGURAS

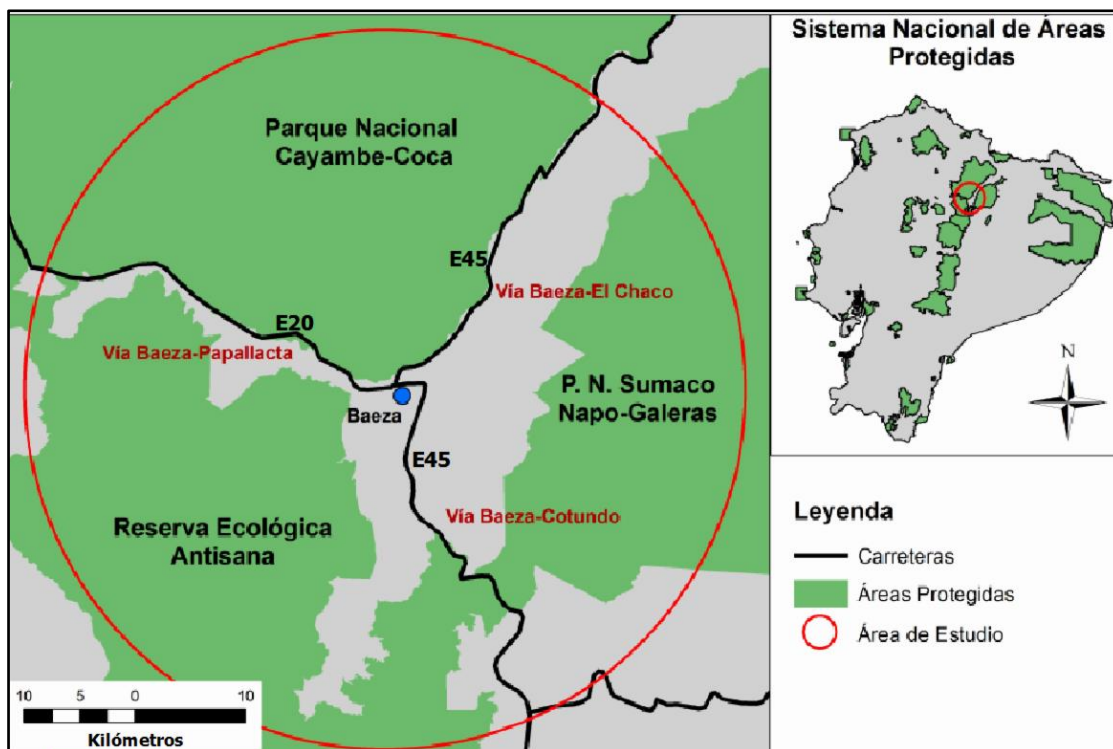
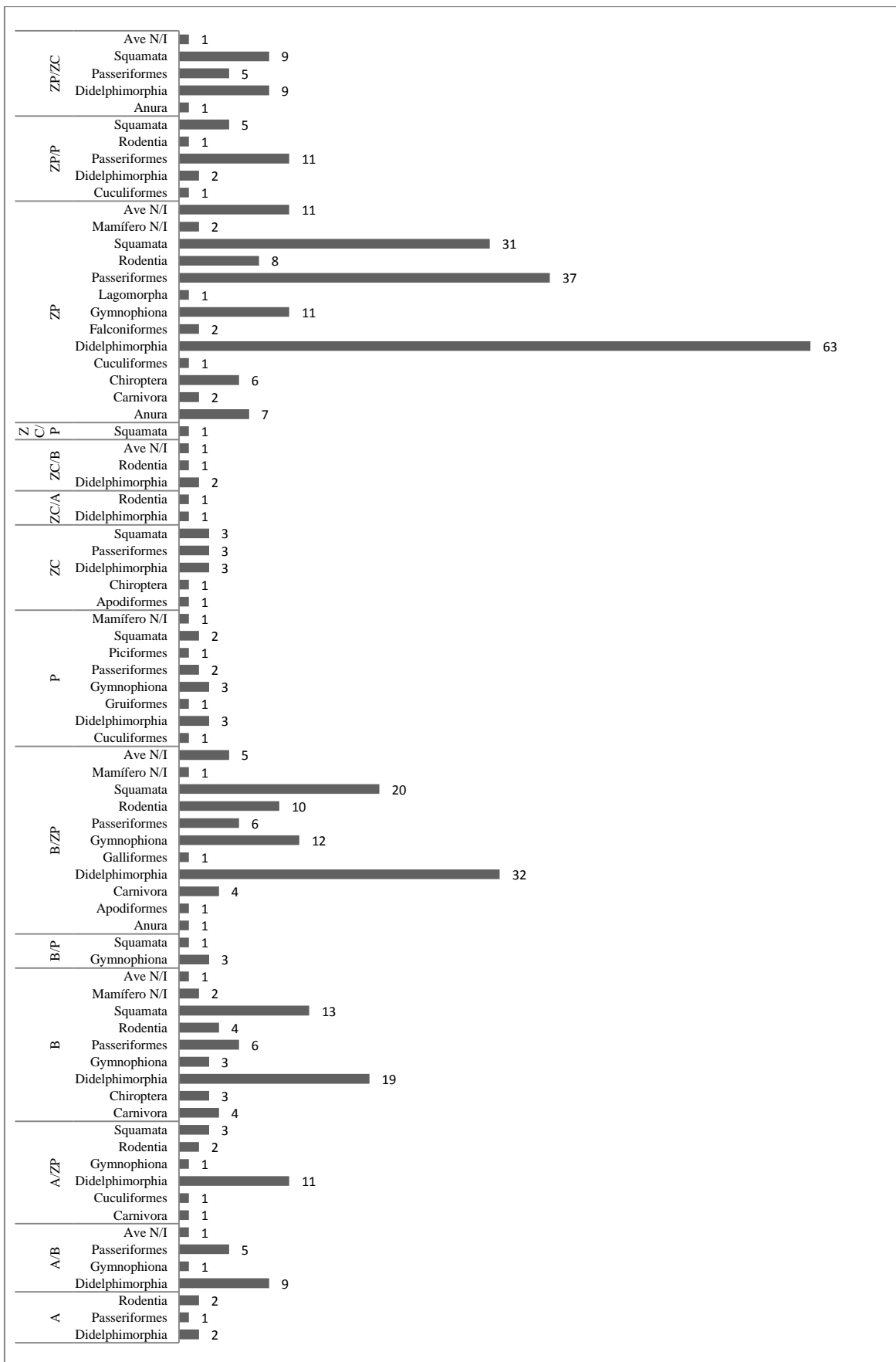
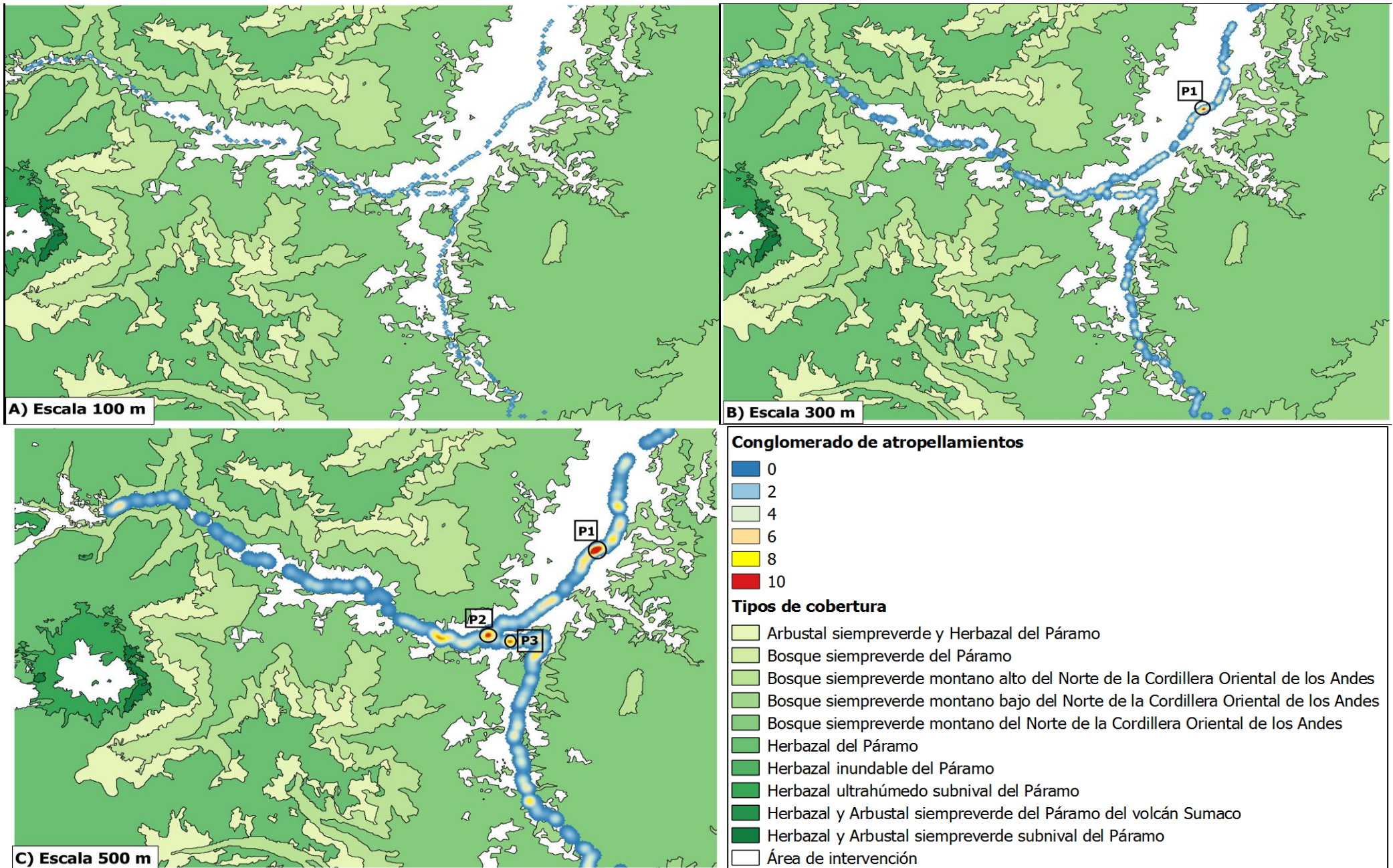


Figura 1. Área de estudio



**Figura 2.** Total de atropellamientos de órdenes de vertebrados en cada tipo de paisaje



Nota: P1, P2 y P3 se refiere a los puntos rojos de atropellamiento identificados

**Figura 3.** Conglomerados de atropellamientos en tres escalas de paisaje

## 9. TABLAS

**Tabla 1.** Clasificación de los tipos de paisaje a cada lado de la vía

Nombre	Descripción
A	Arbustos (Ambos lados)
B	Bosque (Ambos lados)
P	Poblado (Ambos lados)
ZC	Zona de cultivos (Ambos lados)
ZP	Zona de pastoreo (Ambos lados)
B/A	Bosque/Arbustos
B/ZC	Bosque/Zona de cultivos
B/ZP	Bosque/Zona de pastoreo
P/B	Poblado/Bosque
P/ZP	Poblado/Zona de pastoreo
ZC/A	Zona de cultivos/Arbustos
ZC/P	Zona de cultivos/Poblado
ZP/A	Zona de pastoreo/Arbustos
ZP/ZC	Zona de pastoreo/Zona de cultivos

**Tabla 2.** Parámetros de los mejores modelos para cada grupo de fauna

Grupo faunístico	Parámetro	$\beta$	Típ. Error	Wald-X <sup>2</sup>	gl	p
<b>Anfibios</b>	Intersección	1,126	0,4384	6,593	1	0,010
	Quebrada	0,002	0,0006	9,609	1	0,002
	Río	-0,008	0,0019	16,231	1	0,000
<b>Aves</b>	Intersección	0,65	0,2	10,2	1	0,001
	Vegetación remanente	-0,002	0,0004	17,64	1	0,000
<b>Reptiles (serpientes)</b>	Intersección	0,548	0,213	6,632	1	0,010
	Vegetación remanente	-0,001	0,0004	12,787	1	0,000
<b>Mamíferos zarigüeyas</b>	Intersección	0,356	0,2398	2,203	1	0,138
	Vegetación remanente	-0,001	0,0004	5,040	1	0,025
<b>Zarigüeyas</b>	Intersección	0,137	0,146	0,883	1	0,348
	Vegetación remanente	0,000	0,0003	2,256	1	0,133

**Nota:** Todos los parámetros están dados por las distancias más cercanas a ríos, quebradas y vegetación remanente.

**Tabla 3.** Selección de los mejores modelos para predecir la mortalidad de vertebrados en función de variables de paisaje.

**A) Anfibios**

<b>Modelo</b>	<b>AIC</b>	<b>K</b>	<b><math>\Delta</math> AIC</b>	<b>AIC<sub>w</sub></b>
ríos + quebradas	88,51	3	0	0,53
ríos + poblados + quebradas	90,50	4	1,99	0,20
vegetación remanente + ríos + quebradas	90,50	4	2,00	0,20
vegetación remanente + ríos + quebradas + poblados	92,50	5	3,99	0,07
vegetación remanente	97,51	2	9,00	0,01
vegetación remanente + ríos	108,14	3	19,63	0,00
ríos	108,24	2	19,73	0,00
vegetación remanente + ríos + poblados	109,96	4	21,46	0,00
ríos + poblados	110,23	3	21,73	0,00
vegetación remanente + poblados	121,14	3	32,63	0,00
poblados	121,99	2	33,49	0,00
quebradas	122,99	2	34,48	0,00
vegetación remanente + quebradas + poblados	123,01	4	34,50	0,00
quebradas + poblados	123,47	3	34,96	0,00
vegetación remanente + quebradas	123,55	3	35,04	0,00

**B) Aves**

<b>Modelo</b>	<b>AIC</b>	<b>K</b>	<b><math>\Delta</math> AIC</b>	<b>AIC<sub>w</sub></b>
vegetación remanente	250,58	2	0	1,00
vegetación remanente + ríos + quebradas + poblados	267,56	5	16,98	0,00
vegetación remanente + quebradas + poblados	268,45	4	17,87	0,00
vegetación remanente + ríos + quebradas	269,42	4	18,84	0,00
vegetación remanente + quebradas	271,79	3	21,21	0,00
vegetación remanente + poblados	274,27	3	23,69	0,00
vegetación remanente + ríos + poblados	276,06	4	25,48	0,00
ríos + quebradas	280,33	3	29,75	0,00
vegetación remanente + ríos	281,03	3	30,45	0,00
ríos + poblados + quebradas	282,31	3	31,73	0,00
quebradas	296,76	2	46,18	0,00
ríos	296,78	2	46,21	0,00
ríos + poblados	298,40	3	47,83	0,00
quebradas + poblados	298,75	3	48,18	0,00
poblados	300,58	2	50	0,00

## C) Reptiles (serpientes)

Modelo	AIC	K	$\Delta$ AIC	AIC <sub>w</sub>
vegetación remanente	199,72	2	0	1,00
vegetación remanente + ríos + quebrada	231,31	4	31,59	0,00
vegetación remanente + ríos	233,09	3	33,37	0,00
vegetación remanente + ríos + quebrada + poblados	233,13	5	33,42	0,00
vegetación remanente + ríos + poblados	234,87	4	35,15	0,00
vegetación remanente + poblados	235,00	3	35,28	0,00
vegetación remanente + quebrada	235,18	3	35,46	0,00
vegetación remanente + quebrada + poblados	236,82	4	37,10	0,00
ríos + quebrada	238,01	3	38,29	0,00
ríos + poblados + quebrada	239,02	4	39,30	0,00
ríos	241,23	2	41,51	0,00
ríos + poblados	242,15	3	42,43	0,00
poblados	246,47	2	46,76	0,00
quebrada	247,99	2	48,27	0,00
quebrada + poblados	248,47	3	48,76	0,00

## D) Mamíferos sin zarigüeyas

Modelos	AIC	K	$\Delta$ AIC	AIC <sub>w</sub>
vegetación remanente	138,59	2	0	1,00
vegetación remanente + quebradas	163,45	3	24,86	0,00
vegetación remanente + ríos + quebradas	164,09	4	25,50	0,00
vegetación remanente + quebradas + poblados	164,95	4	26,35	0,00
ríos + quebradas	165,25	3	26,66	0,00
vegetación remanente + ríos + quebradas + poblados	165,79	5	27,19	0,00
vegetación remanente + poblados	166,24	3	27,65	0,00
vegetación remanente + ríos	166,83	3	28,23	0,00
ríos + poblados + quebradas	167,21	4	28,61	0,00
quebradas	167,26	2	28,67	0,00
vegetación remanente + ríos + poblados	168,24	4	29,64	0,00
quebradas + poblados	169,20	3	30,61	0,00
ríos	169,65	2	31,06	0,00
poblados	170,32	2	31,73	0,00
ríos + poblados	171,63	3	33,04	0,00

**Nota:** Todos los modelos y variables están dados por las distancias más cercanas a ríos, quebradas, vegetación remanente y poblados.

**Tabla 4.** Identificación de variables más importantes en la predicción de mortalidad de vertebrados

**A) Anfibios**

<b>Modelos/Variables</b>	<b>Vegetación remanente</b>	<b>Ríos</b>	<b>Quebradas</b>	<b>Poblados</b>
ríos + quebradas		0,53	0,53	
ríos + poblados + quebradas		0,20	0,20	0,20
vegetación remanente + ríos + quebradas	0,20	0,20	0,20	
vegetación remanente + ríos + quebradas + poblados	0,07	0,07	0,07	0,07
vegetación remanente	0,01			
vegetación remanente + ríos	0,00	0,00		
ríos		0,00		
vegetación remanente + ríos + poblados	0,00	0,00		0,00
ríos + poblados		0,00		0,00
vegetación remanente + poblados	0,00			0,00
poblados				0,00
quebradas			0,00	
vegetación remanente + quebradas + poblados	0,00		0,00	0,00
quebradas + poblados			0,00	0,00
vegetación remanente + quebradas	0,00		0,00	
<b>Total</b>	<b>0,27</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,27</b>

**B) Aves**

<b>Modelo/Variable</b>	<b>Vegetación remanente</b>	<b>Ríos</b>	<b>Quebradas</b>	<b>Poblados</b>
vegetación remanente	1,00			
vegetación remanente + ríos + quebradas + poblados	0,00	0,00	0,00	0,00
vegetación remanente + quebradas + poblados	0,00		0,00	0,00
vegetación remanente + ríos + quebradas	0,00	0,00	0,00	
vegetación remanente + quebradas	0,00		0,00	
vegetación remanente + poblados	0,00			0,00
vegetación remanente + ríos + poblados	0,00	0,00		0,00
ríos + quebradas		0,00	0,00	
vegetación remanente + ríos	0,00	0,00		
ríos + poblados + quebradas		0,00	0,00	0,00
quebradas			0,00	
ríos		0,00		
ríos + poblados		0,00		0,00
quebradas + poblados			0,00	0,00
poblados				0,00
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

## C) Reptiles (serpientes)

<b>Modelo/Variable</b>	<b>Vegetación remanente</b>	<b>Ríos</b>	<b>Quebradas</b>	<b>Poblados</b>
vegetación remanente	1,00			
vegetación remanente + ríos + quebrada + poblados	0,00	0,00	0,00	0,00
ríos + poblados + quebrada		0,00	0,00	0,00
vegetación remanente + quebrada + poblados	0,00		0,00	0,00
vegetación remanente + ríos + quebrada	0,00	0,00	0,00	
vegetación remanente + ríos + poblados	0,00	0,00		0,00
ríos + poblados		0,00		0,00
vegetación remanente + quebrada	0,00		0,00	
ríos + quebrada		0,00	0,00	
vegetación remanente + ríos	0,00	0,00		
vegetación remanente + poblados	0,00			0,00
quebrada + poblados			0,00	0,00
ríos		0,00		
poblados				0,00
quebrada			0,00	
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

## D) Mamíferos sin zarigüeyas

<b>Modelo/Variable</b>	<b>Vegetación remanente</b>	<b>Ríos</b>	<b>Quebradas</b>	<b>Poblados</b>
vegetación remanente	1,00			
vegetación remanente + quebradas	0,00		0,00	
vegetación remanente + ríos + quebradas	0,00	0,00	0,00	
vegetación remanente + quebradas + poblados	0,00		0,00	0,00
ríos + quebradas		0,00	0,00	
vegetación remanente + ríos + quebradas + poblados	0,00	0,00	0,00	0,00
vegetación remanente + poblados	0,00			0,00
vegetación remanente + ríos	0,00	0,00		
ríos + poblados + quebradas		0,00	0,00	0,00
quebradas			0,00	
vegetación remanente + ríos + poblados	0,00	0,00		0,00
quebradas + poblados			0,00	0,00
ríos		0,00		
poblados				0,00
ríos + poblados		0,00		0,00
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Nota:** Todos los modelos y variables están dados por las distancias más cercanas a ríos, quebradas, vegetación remanente y poblados.

## **10. ANEXOS**

### Anexo 1. Registro de información en campo



### Anexo 2. Lista de especies atropelladas

Taxón	N	Porcentaje de atropellamientos
<b>Amphibia</b>	<b>43</b>	<b>9,51</b>
<b>Anura</b>	<b>9</b>	<b>1,99</b>
<i>Pristimantis sp.</i>	1	0,22
<i>Rhinella marina</i>	7	1,55
N/I	1	0,22
<b>Gymnophiona</b>	<b>34</b>	<b>7,52</b>
<i>Caecilia sp.</i>	34	7,52
<b>Aves</b>	<b>107</b>	<b>23,67</b>
<b>Apodiformes</b>	<b>2</b>	<b>0,44</b>
N/I	2	0,44
<b>Cuculiformes</b>	<b>4</b>	<b>0,88</b>
<i>Crotophaga ani</i>	4	0,88
<b>Falconiformes</b>	<b>2</b>	<b>0,44</b>
N/I	2	0,44
<b>Galliformes</b>	<b>1</b>	<b>0,22</b>
<i>Penelope montagnii</i>	1	0,22
<b>Gruiformes</b>	<b>1</b>	<b>0,22</b>
<i>Porphyryla sp.</i>	1	0,22

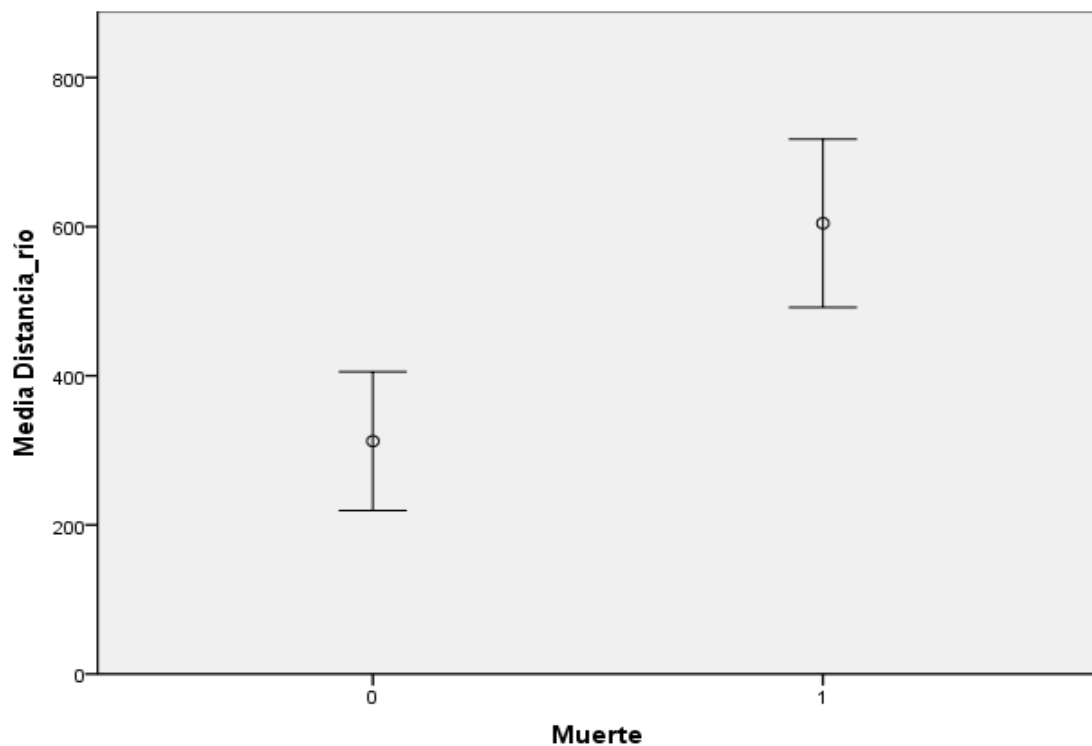
<b>Passeriformes</b>	<b>76</b>	<b>16,81</b>
<i>Ammodramus aurifrons</i>	2	0,44
<i>Ammodramus sp.</i>	1	0,22
<i>Cacicus sp.</i>	1	0,22
<i>Cyanocorax yncas</i>	9	1,99
<i>Diglossa albilatera</i>	1	0,22
<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	10	2,21
<i>Pipraeidea melanonota</i>	1	0,22
<i>Platycichla leucops</i>	2	0,44
<i>Psarocolius angustifrons</i>	4	0,88
<i>Synallaxis sp.</i>	1	0,22
<i>Troglodytes aedon</i>	4	0,88
<i>Zonotrichia capensis</i>	10	2,21
N/I	30	6,64
<b>Piciformes</b>	<b>1</b>	<b>0,22</b>
<i>Dryocopus lineatus</i>	1	0,22
<b>N/I</b>	<b>20</b>	<b>4,42</b>
N/I	20	4,42
<b>Mammalia</b>	<b>213</b>	<b>47,35</b>
<b>Carnivora</b>	<b>11</b>	<b>2,43</b>
<i>Conepatus semistriatus</i>	4	0,88
<i>Leopardus tigrinus</i>	1	0,22
<i>Mustela frenata</i>	3	0,66
<i>Potos flavus</i>	1	0,22
<i>Puma yagouaroundi</i>	2	0,44
<b>Chiroptera</b>	<b>10</b>	<b>2,21</b>
<i>Anoura sp.</i>	1	0,22
<i>Rhinophylla sp.</i>	2	0,44
N/I	7	1,55
<b>Didelphimorphia</b>	<b>157</b>	<b>34,73</b>
<i>Didelphis pernigra</i>	154	33,85
<i>Marmosops sp.</i>	2	0,44
<i>Metachirus nudicaudatus</i>	1	0,22
<b>Lagomorpha</b>	<b>1</b>	<b>0,22</b>
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	1	0,22
<b>Rodentia</b>	<b>29</b>	<b>6,42</b>
<i>Coendou sp.</i>	1	0,22
<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	1	0,22
<i>Microsciurus flaviventer</i>	1	0,22
<i>Mus musculus</i>	5	1,11
<i>Notosciurus granatensis</i>	6	1,32
N/I	15	3,32
<b>N/I</b>	<b>6</b>	<b>1,32</b>
N/I	6	1,32
<b>Reptilia</b>	<b>88</b>	<b>19,47</b>
<b>Squamata</b>	<b>88</b>	<b>19,47</b>

<i>Atractus sp.</i>	29	6,42
<i>Atractus duboisi</i>	2	0,44
<i>Atractus snethlageae</i>	5	1,11
<i>Chironius monticola</i>	3	0,66
<i>Chironius sp.</i>	3	0,66
<i>Clelia sp.</i>	5	1,11
<i>Dipsas gracilis</i>	1	0,22
<i>Dipsas peruana</i>	5	1,11
<i>Dipsas sp.</i>	14	3,1
<i>Micrurus sp.</i>	1	0,22
N/I	20	4,42
<b>Total</b>	<b>452</b>	

Donde: N= Cantidad de animales atropellados; N/I= Taxón de vertebrado no identificado

**Anexo 3.** Comparación de la distancia media desde sitios con atropellamientos (1) y sin atropellamientos (0) a las variables más importantes.

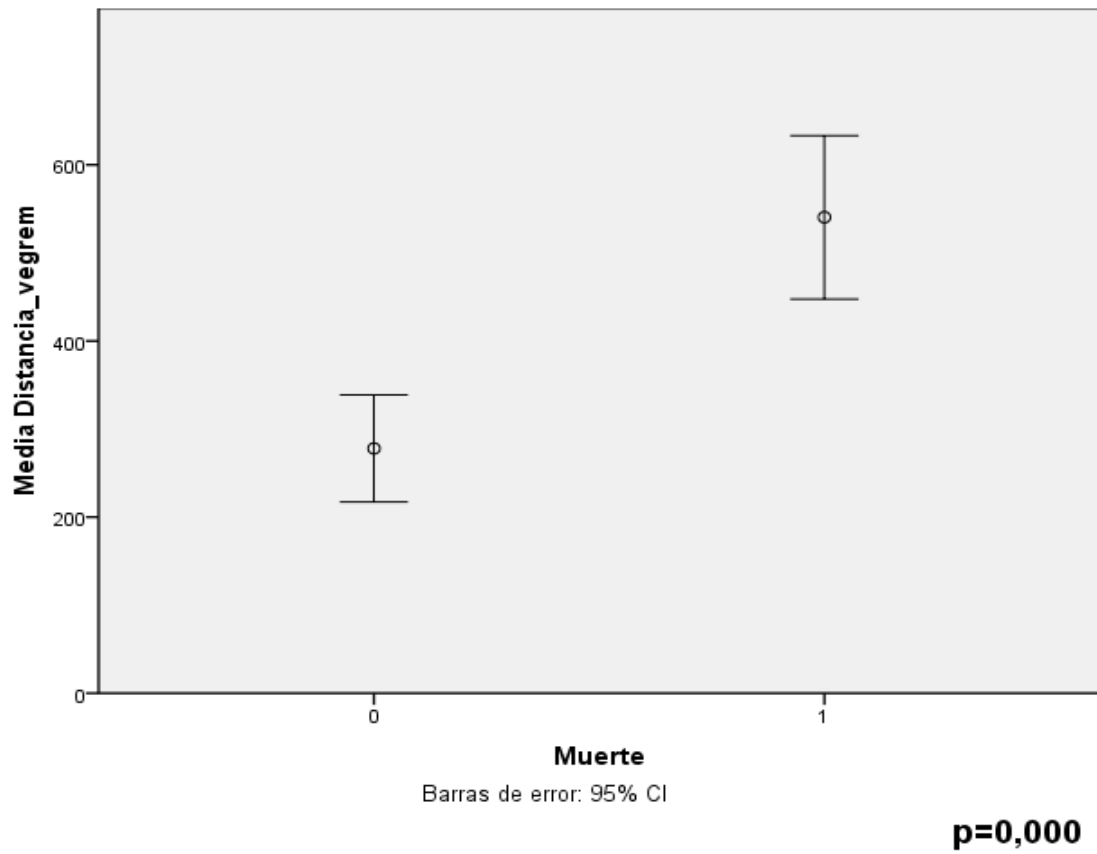
#### A) Anfibios



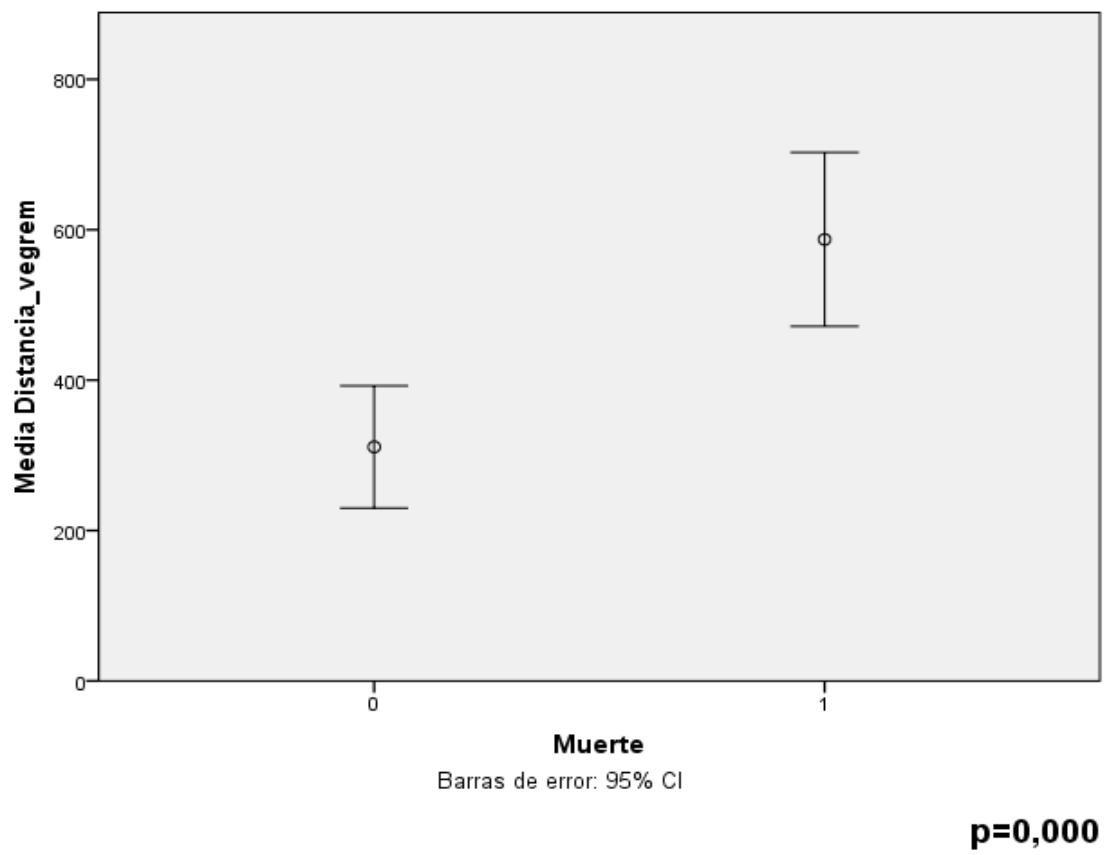
Barras de error: 95% CI

**p=0,027**

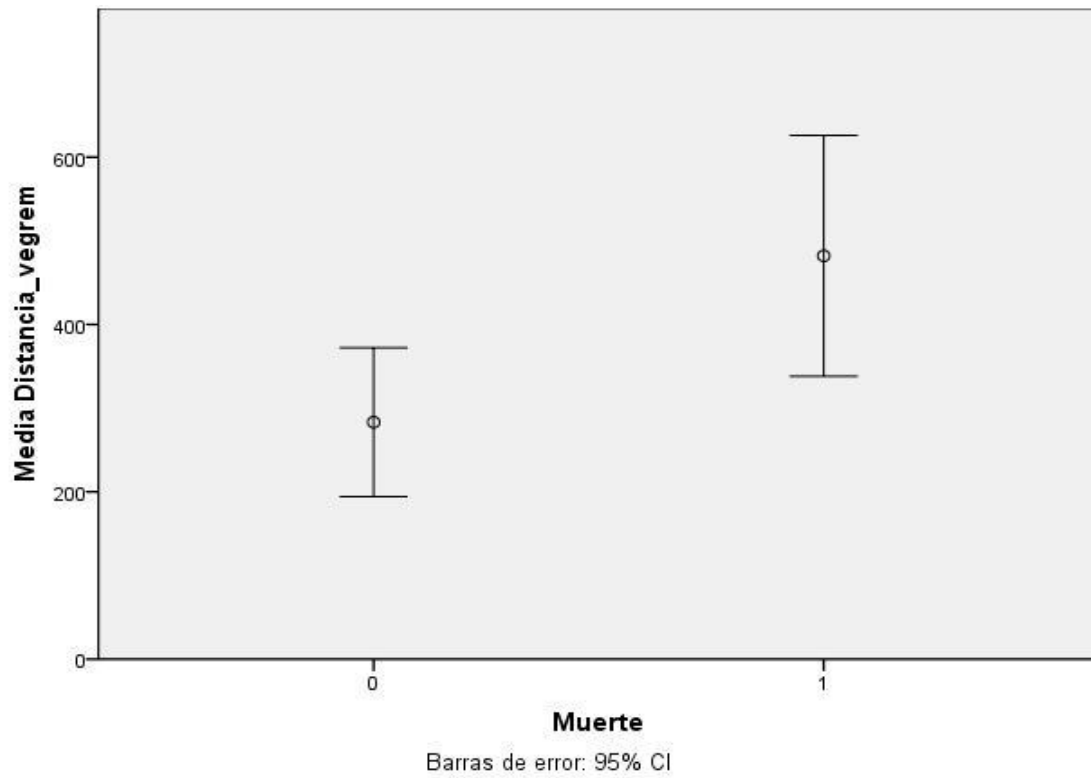
## B) Aves



## C) Serpientes



## D) Mamíferos sin zarigüeyas



**p=0,000**

**Anexo 4.** Fotografías de vertebrados atropelladosA) Posible nueva especie del género *Atractus*

B) Urraca (*Cyanocorax yncas*) atropellado en la vía



C) Individuo de *Caecilia* sp. atropellado en la vía



D) Comadreja (*Mustela frenata*) atropellado en la vía



E) Ardilla (*Notosciurus granatensis*) atropellado en la vía



F) Zorrillo (*Conepatus semistriatus*) atropellado en la vía

