



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA  
ECOLOGÍA

**TÍTULO DEL PROYECTO**

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CARRETERA FEDERAL 200 EN LA  
MORTALIDAD DE VERTEBRADOS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA  
CHAMELA-CUIXMALA

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**ADÁN RODRÍGUEZ GARCÍA**

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. JORGE HUMBERTO VEGA RIVERA  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. VÍCTOR ARROYO RODRÍGUEZ  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y  
SUSTENTABILIDAD, UNAM

Dr. MIGUEL ALFONSO ORTEGA HUERTA  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

MÉXICO, D.F. FEBRERO, 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA  
ECOLOGÍA

**TÍTULO DEL PROYECTO**

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CARRETERA FEDERAL 200 EN LA  
MORTALIDAD DE VERTEBRADOS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA  
CHAMELA-CUIXMALA

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**ADÁN RODRÍGUEZ GARCÍA**

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. JORGE HUMBERTO VEGA RIVERA  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. VÍCTOR ARROYO RODRÍGUEZ  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y  
SUSTENTABILIDAD, UNAM

Dr. MIGUEL ALFONSO ORTEGA HUERTA  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

MÉXICO, D.F. FEBRERO, 2016



Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 23 de noviembre de 2015, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno **RODRÍGUEZ GARCÍA ADÁN** con número de cuenta **408067625** con la tesis titulada **"Evaluación del impacto de la carretera federal 200 en la mortalidad de vertebrados en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala"**, realizada bajo la dirección del **DR. JORGE HUMBERTO VEGA RIVERA**:

Presidente: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MEYER  
Vocal: DR. LUIS DANIEL ÁVILA CABADILLA  
Secretario: DR. MIGUEL ALFONSO ORTEGA HUERTA  
Suplente: DRA. ELLEN ANDRESEN  
Suplente: DR. VÍCTOR ARROYO RODRÍGUEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 29 de enero de 2016.

**DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA**  
**COORDINADORA DEL PROGRAMA**

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

## AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme continuar con mi desarrollo académico y personal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante todo el periodo del posgrado, con número (CVU/Becario): 545824/294567.

A mi tutor principal, el Dr. Jorge Humberto Vega Rivera por todo el apoyo y confianza al aceptarme como su alumno y por todas las facilidades para este proyecto. Así como a los miembros del Comité Tutor, Dr. Víctor Arroyo Rodríguez y Dr. Miguel Alfonso Ortega Huerta, por todo el apoyo otorgado para la realización de este proyecto, así como comentarios y sugerencias para mejorarlo.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A todo el personal de la Estación de Biología Chamela-Instituto de Biología, UNAM, por todo el apoyo y facilidades para mi estancia.

A los miembros del Jurado, Dra. Ellen Andresen, Dr. Luis Daniel Ávila Cabadilla y Dr. Enrique Martínez Meyer, por sus importantes comentarios para mejorar este proyecto.

A todos los que conocí en los meses de estancia en Chamela, que hicieron más amena mi estadía, así como ayudarme en la identificación o un aventón para mis muestreos: Dr. Andrés García, Dra. Khaterine Renton, M. en C. Eugenia González, Alejandro, Christian, Silvia, Tavo, Alejandro (mosca), Simón, Caheri, Roberto, Bibiana, Marisa, Sergio, Fátima, Diego, Andrea, Lili, Nefris y en especial a Luz por la ayuda en los tramites.

A todos y cada uno de mis amigos por el apoyo y confianza: Ricardo, Daniel, Laura, Ricardo (Wuapo), pero sobre todo muy especial a Roció, simplemente gracias por todo ranitiii.

## DEDICATORIA

A mi padre, Modesto Rodríguez, sé que estarías muy orgulloso de este logro más y ver que todo el esfuerzo y dedicación que tuviste conmigo ha tenido muy buenos frutos.

A los motores de mi vida, mi madre, Alicia García, mi abuela, Leonarda Suarez y mi hermana, Karina Rodríguez, por todo el apoyo, comprensión y amor.



**“Las especies salvajes, crecientemente amenazadas por la pérdida de hábitats, dependerán de una organizada protección de su supervivencia. A largo plazo, esto es solo posible si se les mantiene en continua evolución dentro de sus comunidades naturales...” (Otto Frankel, 1974)**

# Índice

<b>Resumen</b>	ix
<b>Abstract</b>	xi
<b>Introducción</b>	1
<b>Objetivos</b>	4
Objetivo General	4
Objetivos Particulares	4
<b>Hipótesis y predicciones</b>	4
<b>Antecedentes</b>	6
Estadísticas sobre atropellamientos	6
Factores que influyen el atropellamiento	10
Áreas Naturales Protegidas	12
Situación en México	12
<b>Metodología</b>	16
Área de estudio	16
Ubicación	16
Clima	17
Biodiversidad	18
Diseño del estudio	19
Muestreo de atropellamiento de animales	20
Abundancia y diversidad	21
Tasas de mortalidad	22
Ubicación de los “hotspots”	22
Cobertura vegetal adyacente	22
Estacionalidad climática	23
Diseño carretero	23
Tráfico vehicular en temporada de vacaciones	24
Influencia de la cobertura vegetal, diseño carretero, temperatura y precipitación	24
<b>Resultados</b>	25
Abundancia y diversidad	27
Tasas de mortalidad	30
Ubicación de los “hotspots”	32
Cobertura vegetal adyacente	35
Estacionalidad climática	36
Diseño carretero	38
Tráfico vehicular en temporada de vacaciones	39
Influencia de la cobertura vegetal, diseño carretero, temperatura y precipitación	41
<b>Discusión</b>	44

<b>Conclusiones, limitaciones y usos potenciales del estudio</b>	54
<b>Literatura citada</b>	56
<b>Apéndice</b>	68

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Área de estudio y ubicación de la Carretera Federal 200 (La Huerta, Jalisco). En rojo, límite norte y sur del tramo estudiado.	17
<b>Figura 2.</b> Precipitación mensual durante el año del estudio (2014). Datos obtenidos de la Estación Meteorológica Manual de la Estación de Biología Chamela, UNAM.	18
<b>Figura 3.</b> Variación temporal en las tasas de mortalidad (ind/km/mes) por clase de vertebrados atropellados, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	31
<b>Figura 4.</b> Mapa de Hotspots del total de atropellamientos, encerradas en óvalos, las 4 zonas de mayor concentración de atropellamientos, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	33
<b>Figura 5.</b> Mapa de Hotspots de atropellamientos de A) anfibios, B) reptiles, C) aves y D) mamíferos, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	34
<b>Figura 6.</b> Número de animales atropellados por tipo de cobertura vegetal adyacente (SBC=selva baja conservada; SBP=selva baja perturbada; R=cobertura rural) y porcentaje de la longitud total del trecho estudiado (41 km) en que se presentó cada cobertura, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	35
<b>Figura 7.</b> Número de animales atropellados por temporada, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	36
<b>Figura 8.</b> Correlación entre la tasa de mortalidad y precipitación por mes, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	37
<b>Figura 9.</b> Correlación entre la tasa de mortalidad y temperatura por mes, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	37
<b>Figura 10.</b> Número de animales atropellados por diseño carretero y porcentaje de km de cada diseño carretero, Carretera Federal 200 (Km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	38
<b>Figura 11.</b> Correlación entre el número de atropellamientos y de vehículos en vacaciones de Semana Santa (en rojo, semanas de Semana Santa), Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	39
<b>Figura 12.</b> Correlación entre el número de atropellamientos y de vehículos en vacaciones de verano (en rojo, semanas de vacaciones de verano), Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	40

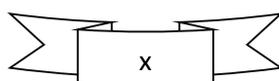
## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Algunos estudios de atropellamientos de vertebrados en el mundo.	7
<b>Tabla 2.</b> Diversidad Taxonómica de todos los vertebrados atropellados, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	27
<b>Tabla 3.</b> Número de individuos atropellados de las diez especies más abundantes por Clase, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	28
<b>Tabla 4.</b> Tasas de mortalidad de los dos tipos de muestreo, para cada una de las cuatro clases de vertebrados atropellados, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.	31
<b>Tabla 5.</b> Modelos lineales generalizados para diversidad de orden 0 ( $^0D$ ).	41
<b>Tabla 6.</b> Modelos lineales generalizados para diversidad de orden 1 ( $^1D$ ).	42
<b>Tabla 7.</b> Modelos lineales generalizados para diversidad de orden 2 ( $^2D$ ).	42
<b>Tabla 8.</b> Modelo lineal generalizado para la tasa de mortalidad.	43

## Resumen

Los atropellamientos de vertebrados representan una de las principales amenazas para la biodiversidad, especialmente en Áreas Naturales Protegidas (ANPs) que se encuentran cercanas o son atravesadas por carreteras. Sin embargo, son pocos los estudios que abordan este problema en México. En este estudio se evaluó la comunidad de vertebrados atropellados en un tramo de 41 km de la Carretera Federal 200 (Barra de Navidad-Puerto Vallarta, municipio de La Huerta, Jalisco), adyacente a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. A través de dos métodos de muestreo complementarios (a pie y en vehículo), se cuantificaron las siguientes variables de respuesta: riqueza, abundancia, diversidad y tasa de mortalidad de especies de vertebrados atropellados entre enero y septiembre de 2014. Además de ubicar las zonas de mayor concentración de atropellamientos (“hotspots”) a lo largo del tramo estudiado, se determinó la relación de la cobertura del terreno adyacente, estacionalidad climática (secas y lluvias), diseño carretero (curvas y rectas) y tráfico vehicular en temporadas de vacaciones, con cada variable de respuesta. Durante los 9 meses de muestreo, se registraron 3,850 animales atropellados, correspondientes a 160 especies dentro de 4 clases de vertebrados (anfibios, reptiles, aves y mamíferos). El número de registros fue mayor en anfibios (2,090 individuos, 54.3%), seguido por reptiles (807 individuos, 21%), mamíferos (670 individuos, 17.4%) y aves (283 individuos, 7.3%). En total, 50 especies son endémicas, 6 están en alguna categoría de riesgo de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) y 33 especies están amenazadas a nivel nacional (NOM-059-2010). En general, la mayoría de las especies estuvieron representadas por pocos individuos, la comunidad de 160 especies resultó equivalente a una comunidad con 31 especies “comunes” (diversidad de orden 1,  ${}^1D$ ) y 12 especies “dominantes” (diversidad de orden 2,  ${}^2D$ ). La tasa de mortalidad estimada fue de 0.06 ind/km/día y 1.5 ind/km/día para el muestreo en vehículo y pie respectivamente. Se identificaron dos zonas de mayor concentración de atropellamientos, una cerca de la Reserva y otra en la parte sur del tramo estudiado. De las variables evaluadas, la mayoría de los atropellamientos ocurrieron en tramos cuya cobertura vegetal adyacente era selva baja

perturbada (2,616 individuos, 67.9%), seguida de la selva baja conservada (740 individuos, 19.2%) y cobertura rural (zonas de uso agrícola y poblados) (494 individuos, 12.9%). En la temporada de lluvias se registraron más atropellamientos (2,684 individuos, 69.7%) que en la temporada de secas (1,166 individuos, 30.3%). Los tramos rectos tuvieron más atropellamientos (2,401 individuos, 62.4%), que los tramos curvos (1,449 individuos, 37.6%). Por último, el aumento del número de vehículos no estuvo correlacionado significativamente con el número de atropellamientos en las vacaciones de Semana Santa ( $r=0.92$ ,  $p= 0.08$ ), mientras que el aumento del número de vehículos tampoco estuvo correlacionado significativamente con el número de atropellamientos en las vacaciones de verano ( $r=0.64$ ,  $p= 0.121$ ). Usando modelos lineales generalizados (GLM) se encontró que, la riqueza total de especies ( $^0D$ ) estuvo significativamente relacionada con diseño carretero y temperatura mensual. Para la diversidad de orden 1 ( $^1D$ ) (especies comunes) y diversidad de orden 2 ( $^2D$ ) (especies dominantes), la precipitación mensual fue la variable más significativa. Con respecto a la tasa de mortalidad, la precipitación mensual fue la variable más significativa. El que la precipitación mensual sea la variable más significativa tanto para los órdenes de diversidad como para la tasa de mortalidad, se puede deber a la influencia que tienen los anfibios, ya que estos, fueron los vertebrados más atropellados y que tienen una relación significativa con la precipitación, debido a sus actividades reproductivas. Estos resultados deben ser considerados en la toma de decisiones sobre la construcción de carreteras en esta zona y otras zonas similares de nuestro país. Se recomiendan realizar acciones como la construcción de pasos de fauna, instalación de señales de precaución, y sobre todo llevar a cabo campañas de información y concientización del público acerca de esta problemática. Además, ante la escasez de información en México, es muy evidente la necesidad urgente de realizar estudios del efecto de las carreteras sobre la mortalidad de vertebrados, ya que es un problema muy serio y la construcción de carreteras sigue y seguirá aumentando.



## Abstract

Vertebrate road-kill is one of the major threats to biodiversity, especially in protected areas that are close or crossed by roads. In Mexico there are few studies addressing this problem and even fewer dealing with the problem in areas close to protected areas. In this study, levels of vertebrate mortality were evaluated in a 41-km stretch of highway in the Carretera Federal 200 Barra de Navidad - Puerto Vallarta, in the municipality of La Huerta, Jalisco. Through two complementary sampling methods (on foot and by vehicle), the following response variables were measured: richness, abundance, diversity and mortality of species of vertebrate road-kills between January and September 2014. In addition to locating the areas of greatest incidence of road kills ("hotspots") along the section studied, I assessed the relationships between the response variables and the following explanatory variables: adjacent land cover type, climate seasonality (dry and wet seasons), road design (curved and straight) and vehicular traffic in the holiday seasons. In total, 3,850 road-kills were recorded, corresponding to 160 species within four classes of vertebrates (amphibians, reptiles, birds and mammals). The number of road-kills was higher in amphibians (2,090 individuals, 54.3%) followed by reptiles (807 individuals, 21%), mammals (670 individuals, 17.4%) and birds (283 individuals, 7.3%). Of the species recorded, 50 are endemic, 6 are found in some category of the IUCN's Red List and 33 species are endangered nationally (NOM-059-2010). In general, most species were represented by few individuals; the community of 160 species resulted equivalent to a community with 31 "common" species (diversity of order 1,  ${}^1D$ ) and 12 "dominant" species (diversity of order 2,  ${}^2D$ ). The estimated rate death was 0.06 ind/km/ day and 1.5 ind/km/ day for sampling in vehicle and foot respectively. I identified two zones of highest incidence of road-kills, one near the Reserve, and one in the southern part of the section studied. Of the variables evaluated, most of the road-kills occurred in sections adjacent to disturbed deciduous tropical forest (2,616 individuals, 67.9%), followed by conserved deciduous tropical forest (740 individuals, 19.2%) and rural land cover (agricultural areas and human settlements; 494 individuals, 12.9%). In the rainy season road-kills were more frequent (2,684 individuals, 69.7%) than in the dry season (1,166 individuals, 30.3%). Straight road sections had more road-kills

(2,401 individuals, 62.4%), than curved sections (1,449 individuals, 37.6%). Finally, the increase in the number of vehicles is not significantly correlated with the number of collisions in the Easter holidays ( $r = 0.92$ ,  $p = 0.08$ ), while increasing the number of vehicles was not significantly correlated with the number of collisions in the summer ( $r = 0.64$ ,  $p = 0.121$ ). Using generalized linear models (GLM) I found that the total number of species killed ( ${}^0D$ ) was more strongly related to road design ( $p = 0.005$ ) and monthly temperature ( $p = 0.037$ ). For the diversity of order 1 ( ${}^1D$ ) (common species) and diversity of order 2 ( ${}^2D$ ) (dominant species), the monthly rainfall was the most significant variable ( $p = 0.076$  and  $p = 0.009$ , respectively). In the case of the death rate, the monthly rainfall was the most significant variable ( $p = 0.036$ ). The monthly precipitation that is the most significant variable for orders diversity and mortality rate may be due to the influence of amphibians, as these were the most vertebrates run over and have a relationship with precipitation, due to their reproductive activities. These results should be considered when making decisions on road construction in this area and other similar areas of our country. I recommend that particular management actions be undertaken, such as building wildlife crossings, placing cautionary signs, and, in particular, carrying out information and awareness campaigns with the local population about this issue. Furthermore, given the scarcity of information in Mexico, the urgent need for studies on the effect of roads on mortality of vertebrates becomes evident, particularly considering the seriousness of the problem and the fact that road construction will continue to increase.

## Introducción

A nivel mundial, se prevé la construcción de al menos 25 millones de kilómetros de nuevas carreteras para el año 2050, lo que implica un aumento del 60% en la longitud total de los caminos, comparado con el año 2010 (Laurance et al., 2014). La mayor cantidad de construcciones de carreteras se llevará a cabo en países en desarrollo, incluyendo muchas regiones que sustentan altos niveles de biodiversidad y que proveen servicios ecosistémicos fundamentales para mantener el funcionamiento e integridad de los ecosistemas y nuestro propio bienestar (Díaz et al., 2006; Cardinale et al., 2012; Cardinale, 2014). Cuando los nuevos caminos y carreteras están bien planeados pueden promover el desarrollo social y económico, se mejora la calidad de vida de los habitantes, se propicia la creación de cadenas productivas generadas por el tráfico de mercancías que impulsan el comercio, la producción industrial y permiten el tránsito de la población (Cortes, 2005; Machado et al., 2015). Lamentablemente, en la mayoría de los casos, la proliferación de carreteras está asociada a muchos problemas ambientales a nivel local y regional (INEGI, 2000; Sperling et al., 2003; Cortes, 2005; Perz et al., 2012; Weng et al., 2013). Entre los más importantes se encuentra la creación de centros de población con servicios insuficientes o nulos, creándose cinturones de construcciones mal planeadas con tasas de expansión tan grandes que comúnmente sobrepasan las capacidades de los planificadores y administradores (Laurance et al., 2001, 2009, 2014; Fearnside y Graça, 2006; Blake et al., 2007; Adeney et al., 2009; Dulac, 2013).

La apertura de carreteras, al igual que muchas otras obras de infraestructura y actividades humanas, tienen diversos efectos negativos sobre los ecosistemas y la biodiversidad, incluyendo: (1) la fragmentación del hábitat, que ocurre cuando un hábitat continuo se divide en dos o más fragmentos de hábitat (Begon et al., 2006; Santos y Telleria, 2006; Castro, 2011); (2) la creación de barreras (efecto barrera) que impiden la movilidad de los organismos o de sus estructuras reproductivas (semillas, polen, etc.), lo que limita el potencial de los organismos para su dispersión y colonización (Arroyave et al., 2006); (3) la creación de bordes (efecto borde), que se asocia a cambios en las condiciones bióticas y abióticas de los remanentes de hábitat que están adyacentes a los

caminos (Kattan, 2002; Arroyave et al., 2006); y (4) los atropellamientos de fauna silvestre (Coffin, 2007; Beckman et al., 2010; Taylor y Goldingay, 2010).

Los atropellamientos de fauna silvestre a menudo resultan en la muerte de los animales atropellados y por lo tanto tienen un impacto directo sobre las poblaciones de los animales, representando una amenaza grave para muchas especies. De particular relevancia son los efectos negativos sobre las poblaciones de especies amenazadas o en peligro de extinción ya que las tasas de mortalidad por atropellamientos pueden exceder a las tasas de mortalidad natural (Arroyave et al., 2006; Glista et al., 2007). Se ha visto que los atropellamientos pueden afectar la densidad poblacional de muchas especies (Fahrig et al., 1995; Huijser y Bergers, 2000) y alterar la estructura de sexos de las poblaciones silvestres (Gibbs y Steen, 2005). El grado de daño depende del tamaño de la población y de la capacidad reproductiva de las especies (Taylor y Goldingay, 2004).

Los atropellamientos de fauna silvestre tienen efectos ecológicos evidentes e inmediatamente reconocibles: los animales de todos los tamaños se ven afectados, desde pequeños insectos hasta grandes cérvidos (Trombulak y Frissell, 2000; Spellerberg, 2002; Smith-Patten y Patten, 2008). Algunos autores consideran que los atropellamientos son la principal causa directa de mortalidad de vertebrados terrestres en todo el mundo (Forman y Alexander, 1998) y en contraste con otras causas de mortalidad (e.g., depredación, enfermedades, edad, caza, contaminación, especies exóticas), ésta es responsable de la eliminación de los individuos sanos de las poblaciones naturales (Bujoczek et al., 2011). Además, el atropellamiento a menudo provoca lesiones humanas y pérdidas monetarias debido a la colisión entre el vehículo y el animal (Forman et al., 2003), por lo que se ha convertido en uno de los impactos sobre la fauna silvestre, más estudiados en los últimos años (Bager y Alves, 2010, 2011; Attademo et al., 2011; Clevenger y Huijser, 2011; Alves y Bager, 2012; Bokorvcová et al., 2012; Bager y Fontoura, 2013; Eberhardt et al., 2013; Collinson et al., 2014).

Algunas de las zonas de mayor preocupación con respecto al atropellamiento de animales son aquellas cercanas a las Áreas Naturales Protegidas (ANPs), ya que en estas ANPs la protección y preservación de la biodiversidad es algo muy importante (Forman et al., 2003; National Park

Service, 2006; Ament et al., 2008). De hecho, los accidentes por atropellamientos en algunas ANPs han sido reconocidos en los últimos años como la mayor fuente antropogénica de mortalidad de vertebrados en parques y reservas de muchos países (Garriga et al., 2012). Los estudios confirman que las poblaciones de algunas especies se ven afectadas negativamente, incluso hasta el punto de extinción local (Trombulak y Frissell, 2000; Gibbs y Shriver, 2002, 2005; Forman et al., 2003). Las ANPs son comúnmente frecuentadas por turistas y residentes locales, por lo tanto, son sometidas al tráfico regular. Debido a esto, los animales que se encuentran dentro o cerca de ANPs, no necesariamente están más protegidos que los que habitan en áreas fuera de esos límites (Newmark, 1995; Ament et al., 2008; Hartmann et al., 2011).

Es así, que toda la información generada en este tipo de estudios es fundamental para mejorar los planes de manejo que se enfocan a reducir el impacto de las carreteras sobre los vertebrados. De hecho, esta información pudiera permitir establecer una base científica en el país que ayude a promover la concientización social y política acerca de los efectos ecológicos de las carreteras en la biodiversidad de México.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Identificar la variación espacio-temporal y los factores asociados a la mortalidad de vertebrados en un tramo de la Carretera Federal 200 cercano a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco.

### **Objetivos particulares**

1. Cuantificar la riqueza, abundancia, diversidad, y tasa de mortalidad (ind/km/mes) de vertebrados atropellados (mamíferos, anfibios, reptiles y aves), y ubicar las zonas de mayor concentración (hotspots) de atropellamientos.
2. Conocer la relación que tienen algunas variables explicativas individualmente, con la riqueza y abundancia de animales atropellados. Así como identificar cuál es la variable o variables más significativas cuando se encuentran en adición, en relación con la tasa de mortalidad de atropellamiento y los órdenes de diversidad ( $D^0$ ,  $D^1$  y  $D^2$ ).

## **Hipótesis y predicciones**

1. Las ANPs contienen ecosistemas representativos conservados con las condiciones de hábitat idóneas para las poblaciones de especies de fauna silvestre (Naughton-Treves et al., 2005; Garriga et al., 2012; Le et al., 2014). Por lo tanto, habrá una mayor ocurrencia de atropellamientos en los tramos adyacentes más próximos a la RBCC, comparado con otros tramos más alejados.
2. La presencia de cobertura vegetal más conservada adyacente a la carretera, implica una menor visibilidad para los vehículos que transitan en ésta (Klocker et al., 2006; RACC, 2011), además, los animales se acercan más a las carreteras, debido a que su hábitat llega hasta el borde de la misma. Por lo tanto, los tramos con la cobertura vegetal adyacente más conservada presentarán un mayor

número de vertebrados atropellados, respecto a otros tramos con vegetación adyacente menos conservada.

3. En días con lluvias se incrementa la movilidad de algunas especies de vertebrados debido a que en estos días ocurren procesos biológicos como la reproducción (Gryz y Krauze, 2008; Espinosa et al., 2012), además, el follaje de las plantas crece con las lluvias, reduciendo la visibilidad de las orillas de la carretera. Por lo tanto, en días con lluvias habrá un incremento en el número de vertebrados atropellados, respecto a los días sin lluvia.

4. En zonas de la carretera con rectas los conductores aumentan la velocidad, mientras que en las zonas con curvas los conductores tienen menos visibilidad (Klocker et al., 2006). Por lo tanto, en las zonas de la carretera con rectas, los conductores tendrán pocas posibilidades para detenerse o esquivar la presencia de algún animal, mientras que en las zonas con curvas los conductores no podrían detectar a tiempo la presencia de animales sobre la carretera, por lo que se espera encontrar números equivalentes de atropellamientos de vertebrados en estos dos tipos de diseño carretero.

5. En temporada de vacaciones aumenta el tráfico vehicular para trasladarse a zonas turísticas, aumentando la probabilidad de colisiones entre vehículos y vertebrados (Alves y Bager, 2012). Por lo tanto, en temporada de vacaciones se espera una relación entre el aumento de vehículos y el aumento en el número de vertebrados atropellados, en comparación con semanas que no son vacaciones.

## **Antecedentes**

### **Estadísticas sobre atropellamientos**

Algunos autores opinan que las carreteras y vehículos han sobrepasado a la caza y captura de fauna silvestre como principal causa directa antropogénica de su mortandad, incluyendo tanto vertebrados como invertebrados (Forman y Alexander, 1998; Clevenger et al., 2003). Estimaciones realizadas para España apuntaban a 13,900 accidentes provocados por vertebrados (RACC, 2011), sin embargo, en estos accidentes solo se incluyen vertebrados de talla mediana y grande (zorros, perros, cérvidos y jabalíes), por lo que el número sería mayor si se incluyeran los vertebrados más pequeños. En Brasil, una estimación hecha por el Centro Brasileño de Estudios en Ecología de Carreteras (CBEEC, por sus siglas en portugués), a partir de 14 estudios científicos en ese país, llegaron a una cifra de 475 millones de vertebrados atropellados al año, de los cuales el 90 % corresponden a animales de talla pequeña (Bager, 2014). Para Canadá se estima que mueren 45,000 vertebrados al día, mientras que para Estados Unidos de América (EUA) se estiman alrededor de un millón de vertebrados por día (Forman y Alexander, 1998). Además, se estima que en EUA, las colisiones con animales causan 211 muertes y 29,000 lesiones en humanos, y más de mil millones de dólares en daños a la propiedad, cada año (Huijser et al., 2009; Clevenger y Huijser, 2011). Los estudios sobre atropellamientos de fauna son más frecuentes en países desarrollados y menos frecuentes en países en desarrollo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Algunos estudios de atropellamientos de vertebrados en el mundo.

Tiempo de Estudio	km muestreados de carretera	Ubicación de Estudio	Grupo taxonómico o Especie	Atropellamientos registrados	Referencia
50 salidas a intervalos semanales	1.6 km	Ohio, EUA	Anfibios, Reptiles y Mamíferos	2419 ind	Seibert y Conover, 1991
Semanalmente todo un año	17 km	Orense, España	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	83 especies (12192 ind)	González-Prieto et al., 1993
155 transectos lineales	1,237 km	Toledo, España	Aves	53 especies (590 ind)	Frías, 1999
Basándose en reportes	1,800 km	Dinamarca	Tejón común ( <i>Meles meles</i> )	3600 ind	Aaris-Sørensen, 1995
73 meses, seguimiento diario	15.7 km	Rio Grande do Sul, Brasil	Reptiles, Aves y Mamíferos	32 especies (1547 ind)	Bager y Fontoura, 2013
49 muestreos, de 3-5 por mes	168.9 km	Florida, EUA	Armadillo ( <i>Dasypus novemcinctus</i> )	143 ind	Inbar y Mayer, 1999
Diario	0.6 km	Djursland, Dinamarca	Anfibios	6 especies (203 ind)	Hels y Buchwald, 2001
3 rutas (30días/mes, 10 días/mes y 21días/mes)	21,372 km	California, EUA	Mamíferos	12 especies	Caro et al., 2000
105 días durante 52 semanas consecutivas	3.2 km	Florida, EUA	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	62 especies (1821 ind)	Smith y Dodd, 2003

**Tabla 1.** (Continuación).

2 veces al mes, cada quince días durante 4 meses	248 km	Mudumalai Tiger Reserve, India	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	40 especies (180 ind)	Baskaran y Boominathan, 2010
2 veces por día, 5 días a la semana	40 km	New South Wales, Australia	Aves y Mamíferos	4464 ind	Ramp et al., 2005
20 semanas	100 km	New South Wales, Australia	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	53 especies (529 ind)	Taylor y Goldingay, 2004
56 recorridos	616 km	Antioquia, Colombia	Mamíferos	15 especies (58 ind)	Delgado-V. 2007
2-3 veces por semana, 26 meses	48.8 km	Polonia	Mamíferos	23 especies (383 ind)	Orlowski y Nowak, 2006
Semanalmente	117 km	Rio Grande do Sul, Brasil	Reptiles, Aves y Mamíferos	92 especies	Bager y Alves, 2011
95 monitoreos	117 km	Brasil	Aves	57 especies (708 ind)	Alves y Bager, 2012
Mensualmente	95 km y 100 km	Rio Grande do Sul, Brasil	Reptiles, Aves y Mamíferos	92 especies (869 ind)	Coelho et al., 2008
3-7 días al mes (51 en total)	2.51 km	Biebrza, Polonia	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	47 especies (1892 ind)	Gryz y Krauze, 2008
80 días	37 km	Ontario, Canadá	Invertebrados, Anfibios, Reptiles y Mamíferos	63 especies (6682 ind)	Eberhardt et al., 2013

**Tabla 1.** (Continuación).

49 días	1.2 km	Oaxaca, México	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	28 especies (221 ind)	Grosselet et al., 2009
3 veces por transecto al mes	3 transectos de 1 km	Santa Fe, Argentina	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	2024 ind	Attademo et al., 2011
20 días en 7 meses	21 km	Bulgaria	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	55 especies (756 ind)	Kambourova-Ivanova et al., 2012
3 veces por transecto al mes	13 transectos de 1 km	Valle de El Paular, España	Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos	67 especies (632 ind)	Espinosa et al., 2012
1 día en octubre, abril y agosto	3 tramos (120 km, 100 km y 110 km)	Argentina	Mamíferos	10 especies (12 ind)	Barri, 2010

---

## **Factores que influyen en el atropellamiento**

Existen multitud de factores intrínsecos y extrínsecos que pueden promover los atropellamientos de fauna silvestre (Ashley y Robinson, 1996; Clevenger et al., 2003; Garriga et al., 2012). Los factores intrínsecos se refieren a las características de la biología de las especies que las llevan a utilizar las carreteras y/o que las hacen más propensas a ser atropelladas una vez que decidan cruzar. Por otro lado, los factores extrínsecos se refieren a las características del hábitat y la estructura del paisaje, así como características de la carretera, del tráfico y del clima, que promueven el uso de las carreteras por los animales y/o aumentan la probabilidad de que sean atropellados (Frías, 1999; Ramp et al., 2006; Klocker et al., 2006; RACC, 2011; Borkovcová et al., 2012; Espinosa et al., 2012). Por ejemplo, muchos organismos intentan cruzar la carretera en busca de alimento, madrigueras, sitios para anidar o pareja. En algunas aves, se da el caso que toman pequeños granos de arena del borde de la vía para tener una mejor digestión de las semillas (Arroyave et al., 2006). Algunos mamíferos se acercan a consumir las sales que se aplican para descongelar el hielo en las carreteras (Arroyave et al., 2006). Los venados y otros herbívoros pueden alimentarse de la vegetación que crece junto a la carretera (Arroyave et al., 2006; Alves y Bager, 2012). Los animales carroñeros como zopilotes, cuervos, coyotes y mapaches se acercan a las carreteras para comer los animales que se encuentran muertos sobre ella (Forman y Alexander, 1998; Noss, 2002; Arroyave et al., 2006). Además, muchas especies de vertebrados se trasladan hacia las zonas de cortejo y/o reproducción (e.g. anfibios, Carr y Fahrig, 2001; aves, Erritzoe et al., 2003; Alves y Bager, 2012), o realizan movimientos de dispersión de individuos juveniles (Arroyave et al., 2006; Gryz y Krauze, 2008; Alves y Bager, 2012).

Entre los factores extrínsecos, la cobertura vegetal adyacente presenta dos tipos de zonas que originan atropellamiento de animales. En un primer escenario, la vegetación con escasa altura (<1 m) propicia que los conductores vayan más rápido y no puedan detenerse ante la presencia de algún animal y lo atropellen (Ramp et al., 2006). Además, en lugares desprovistos de vegetación, los animales son expuestos directamente al ruido del tráfico y al deslumbramiento por las luces de los vehículos, lo que puede desorientarlos, y

por lo tanto aumentar la probabilidad de atropellamiento cuando cruzan la carretera (Massemim y Zorn, 1998; Borkovcová et al., 2012). En un segundo escenario, los tramos de carretera con cobertura vegetal elevada y bosques densos limitan la visibilidad para los conductores y animales, incrementando la probabilidad de que éstos últimos decidan cruzar y sean atropellados, a pesar de que los conductores vayan más lento (Klocker et al., 2006; RACC, 2011).

El clima (e.g. temperatura y precipitación) determina la época reproductiva de muchos animales. Por ejemplo, la etapa reproductiva de los anfibios coincide con épocas de alta precipitación y temperatura, incrementando la frecuencia de atropellamientos al aumentar los movimientos migratorios de los adultos a charcas de reproducción (Gryz y Krauze, 2008; Espinosa et al., 2012). En las aves, el periodo de mayor actividad reproductiva coincide con el verano cuando los adultos buscan pareja y/o recursos para sus nidos y pollos (Espinosa et al., 2012), mientras que el atropellamiento de juveniles se da en verano y otoño, debido a que abundan y son poco diestros para el vuelo (Frías, 1999; Erritzoe et al., 2003; Alves y Bager, 2012). Los reptiles al ser termófilos, son atropellados en los meses más calurosos (primavera y verano), debido a que se acercan al asfalto para adquirir el calor acumulado, que tiene una mayor temperatura que el suelo del alrededor (Espinosa et al., 2012). Los mamíferos son atropellados a lo largo de todo el año, pero en zonas templadas presentan una mayor incidencia de atropellamiento en verano (Aaris-Sørensen, 1995; Espinosa et al., 2012).

El diseño carretero es uno de los factores extrínsecos menos estudiados. Sabemos que la mortandad de vertebrados está relacionada con la visibilidad de los conductores (presencia de curvas) y la velocidad a la que conducen (presencia de rectas). Se ha documentado que los atropellamientos son más frecuentes en curvas pronunciadas y rectas largas, debido a una menor capacidad del conductor para detectar algún animal en el caso de las curvas pronunciadas y una menor capacidad de maniobrar a alta velocidad en las rectas largas (Klocker et al., 2006). Por otra lado, igualmente los atropellamientos se relacionan con los periodos vacacionales, debido a que aumentan los atropellamientos por el incremento de la carga vehicular (Alves y Bager, 2012).

## **Áreas Naturales Protegidas**

Existe poca información de los atropellamientos de animales en ANPs, a pesar de ser la primer causa de mortalidad directa de animales, originada por los humanos (Ramp et al., 2006; Pickering, 2010; Garriga et al., 2012). Desafortunadamente, la construcción de carreteras cercanas a ANPs escapa de las capacidades de decisión de los encargados de estas, teniendo muchas veces como único recurso determinar si las medidas de mitigación propuestas son adecuadas (Clevenger et al., 2003; Ament et al., 2008; Pickering, 2010; Garriga et al., 2012). Por lo tanto, es importante llevar a cabo evaluaciones sobre los atropellamientos de animales en las carreteras asociadas a estas áreas y comparar los resultados obtenidos con los de los promoventes de proyectos de desarrollo carretero, así como analizar si son adecuadas las medidas de mitigación propuestas por estos.

## **Situación en México**

En México, la extensión total de carreteras a lo largo del país es de 374,262 km y las carreteras de la red Federal, tanto de cuota como libre, tienen una extensión total de 49,102 km (INEGI, 2012). El estado de Jalisco es uno de los más importantes del país, no solamente por su tamaño y desarrollo socio-económico, sino también porque es una vía importante de comercio y comunicación, que conecta las regiones del norte con el centro y sur del país. Este estado tiene una extensión de 2,511 km de carreteras (INEGI, 2011, 2012), pero dado el aumento en la demanda de caminos, la construcción de carreteras sigue en aumento.

En México, para poder llevar a cabo obras y actividades de infraestructura de competencia Federal, la legislación ambiental vigente requiere que el proponente presente una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA). Este documento es un estudio técnico en el que se analizan los impactos ambientales significativos y potenciales de las obras o actividades previstas en el artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). La MIA debe contener las medidas para prevenir, mitigar o compensar los impactos generados (SEMARNAT, 2013). Este documento se presenta ante la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) de la Secretaría de

Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que es la dependencia de gobierno que se encarga de evaluar la viabilidad del proyecto y así autorizar (total o parcialmente con condicionantes) o rechazar estas obras o actividades. La construcción de carreteras es uno de los tipos de obras sujetas a lo establecido por la LGEEPA. Cuando el proyecto es autorizado, el responsable debe hacerse cargo de implementar las medidas de mitigación, antes, durante y después del inicio de la construcción, ya que estas permitirán que los impactos ambientales se reduzcan a lo mínimo. Sin embargo, uno de los problemas más graves en nuestro país es que la mayoría de los proyectos que se concluyen no llevan a cabo las medidas que se propusieron, y de ahí la importancia de que se haga un seguimiento a estos proyectos.

Uno de estos casos se presenta en una carretera de la costa del Pacífico en el estado de Jalisco. La Carretera Federal 200 une las ciudades de Barra de Navidad y Puerto Vallarta. Tiene una extensión aproximada de 212 km y atraviesa áreas de bosque tropical caducifolio y bosques asociados que contienen muestras representativas de la biodiversidad regional. La actual carretera tiene un ancho de 7.6 a 8 m, presenta curvas pronunciadas y no cuenta con acotamientos. Estas condiciones, aunadas al interés turístico nacional e internacional para utilizar y desarrollar esta zona, han determinado que se haya elaborado un proyecto de ampliación de esta carretera que pretende incluir acotamientos exteriores de 2.5 m (ancho total de 12 m) con el fin de aumentar la capacidad de tránsito.

Hasta el momento, la "modernización" de dos tramos de esta carretera, ha sido aprobada por la DGIRA-SEMARNAT: El tramo Pto. Vallarta-El Tuito (43 km, 1 junio 2010) y el tramo El Tuito-Tomatlán (32 km, junio 2013). Actualmente se están revisando dos MIAs sometidas a la DGIRA-SEMARNAT el pasado 24 de noviembre del 2014. Una de ellas, "Modernización de la Carretera Federal No. 200 en su tramo Melaque – José Ma. Morelos, del km 0+000 al 87 + 100, en el estado de Jalisco" (sometida en 2014, retirada y re-sometida en el 2015, y actualmente en revisión desde el 15 de septiembre 2015; SCT. MIA-R, 2015) propone la construcción de acotamientos y rectificación de curvas horizontales. En la segunda MIA, "Modernización de la Carretera Federal 200 – 2da Etapa, km 61+734 al km 70+929, Municipio de la Huerta, estado de Jalisco" (SCT. MIA-R, 2014) se aceptó un desvío y construcción de 9.206 km de carretera,

argumentando que se afectaba la hidrología de un estero y alteraba el ambiente, lo que es, en el mejor de los casos, cuestionable. La Carretera Federal 200 transcurre adyacente a la Reserva de la Biósfera Chamela–Cuixmala (RBCC) en un tramo de casi 20 km. La RBCC protege un gran número de especies animales considerados en peligro de extinción, endémicas y de importancia económica (Noguera et al., 2002).

Por todo lo anterior, este estudio propone generar información que nos permita conocer y documentar el impacto que esta carretera tiene sobre la mortandad de animales, previo a la ampliación de la carretera. Asimismo, con esta información (“un antes”) se sentarán las bases para que en estudios posteriores se evalúen los efectos de la ampliación (“un después”), y se puedan analizar los alcances de las medidas propuestas en la MIA (SCT. MIA-R, 2015) para reducir sus impactos ambientales, incluidos los atropellamientos de fauna silvestre.

Este trabajo es uno de los pocos que se han realizado sobre esta temática en México. La mayoría de estudios que analizan los efectos ecológicos de las carreteras, y en específico los atropellamientos de vertebrados provienen principalmente de países en Europa y Norteamérica (Seiler, 2001). Con respecto a nuestro país, pocos estudios sobre atropellamiento de animales han sido publicados o se han difundido muy poco. La mayoría de trabajos realizados están relacionados al seguimiento de MIAs y esta información no siempre se encuentra accesible al público por parte de la SEMARNAT.

Los trabajos sobre inventarios de animales atropellados en las carreteras son importantes porque proveen información valiosa sobre aspectos de la ecología y biología de las especies. Por ejemplo, el número de animales atropellados puede utilizarse para estimar abundancias totales, por clase, sexo o edad, tasas de mortalidad, puntos de concentración de atropellamientos, entre otros (Case, 1978; Clevenger et al., 2003; Donaldson y Bennett, 2004; Arroyave et al., 2006; Collinson et al., 2014). Frecuentemente estas evaluaciones no son solo utilizadas para estimar atropellamientos (Lodé, 2000), sino también para la estimación de parámetros como la diversidad de especies (Enge y Wood, 2002; Seigel et al., 2002), demografía (Kazmaier et al., 2001) y abundancias (Fahrig et al., 1995; Enge y Wood, 2002).

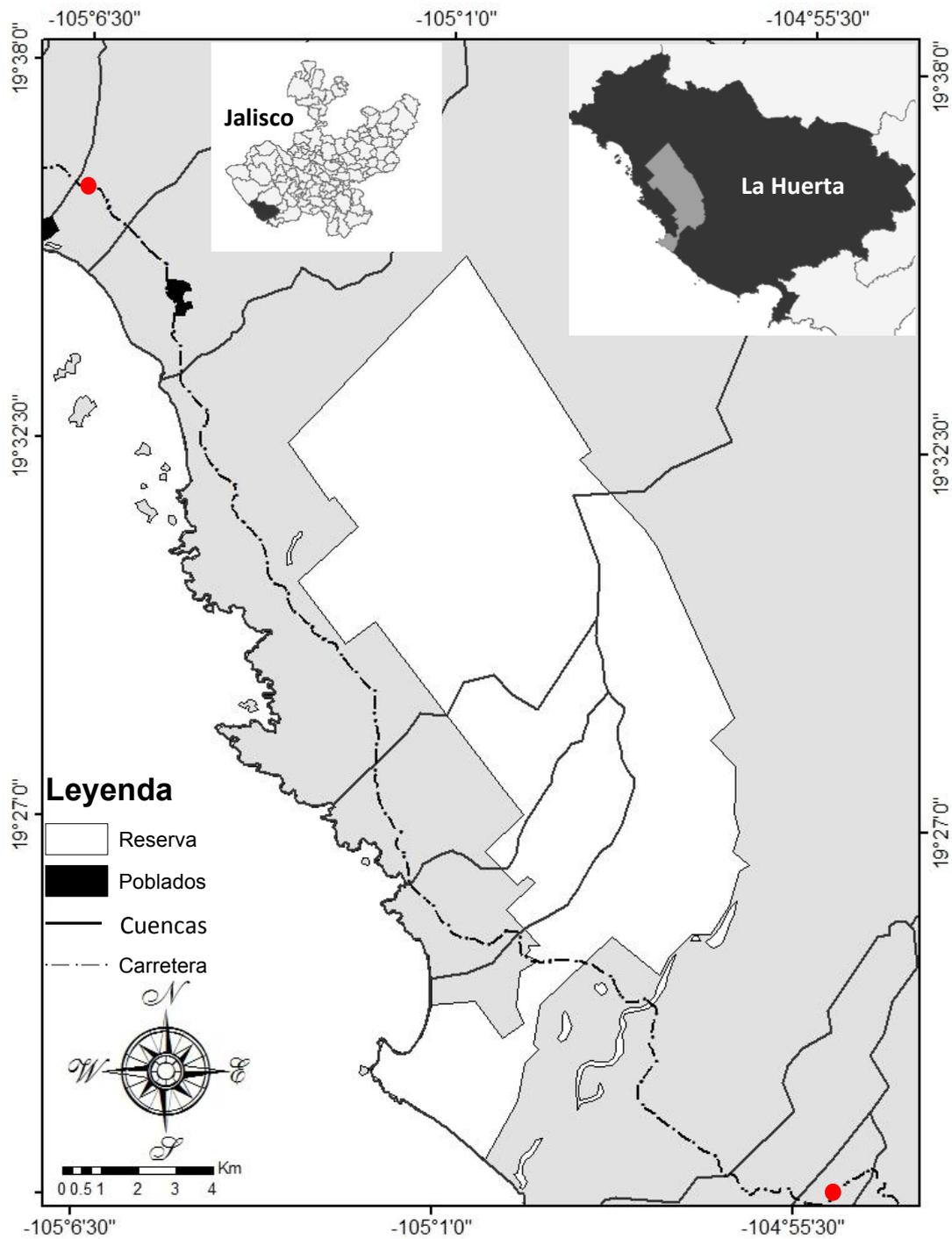
Por lo anteriormente mencionado, es necesario e importante elaborar investigaciones sobre los impactos que originan las carreteras sobre la biodiversidad, así como hacer llegar esta información a toda la sociedad y concientizarla sobre la gravedad de este problema. Además, sería importante establecer una base científica en el país sobre estos temas, para de esta manera poder tomar mejores decisiones sobre los efectos ecológicos de las carreteras sobre la biodiversidad de México.

## **Metodología**

### **Área de estudio**

#### **Ubicación**

La Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala se localiza en la costa sur del estado de Jalisco en el Municipio de la Huerta, entre los paralelos 19°36' N y 19°21' N y entre los meridianos 105°02' O y 104°56' O, a aproximadamente 120 km de la ciudad de Manzanillo, Colima y a 155 km de Puerto Vallarta, Jalisco (Fig. 1). Se sitúa en la provincia Sierra Madre del Sur y subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima. La reserva protege un territorio de 13,142 ha cubiertas principalmente por bosque tropical caducifolio. La topografía en la reserva es de lomeríos bajos y pequeñas cañadas, en las que se forman arroyos temporales en temporada de lluvias que a su vez alimentan al arroyo Chamela y al río Cuixmala (Ceballos et al., 1999).

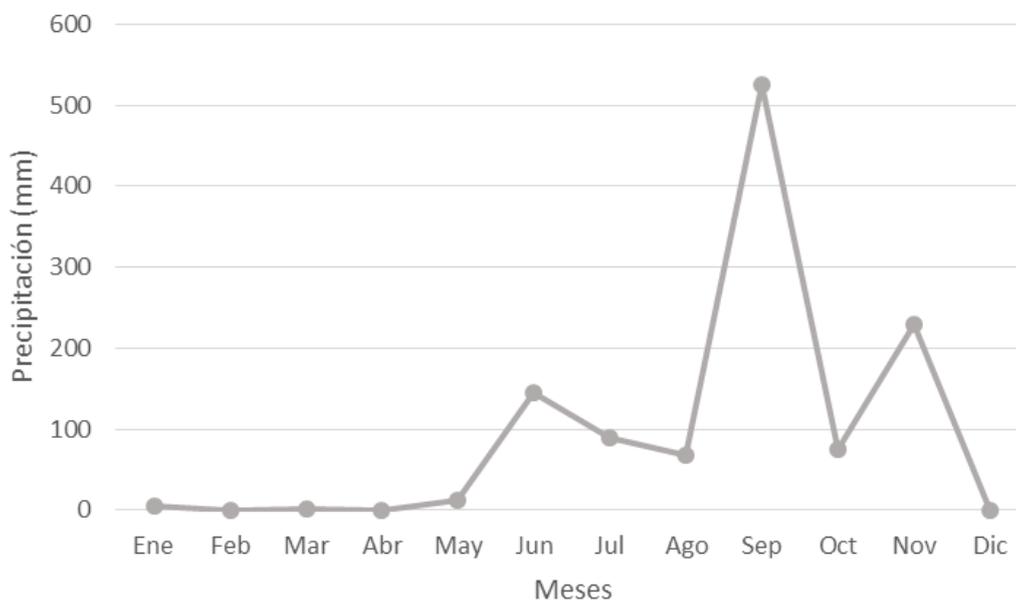


**Figura 1.** Área de estudio y ubicación de la Carretera Federal 200 (La Huerta, Jalisco). En rojo, límite norte y sur del tramo estudiado.

### Clima

El clima de la región es tropical con una precipitación marcadamente estacional. La temporada de lluvias dura alrededor de cuatro meses (junio a septiembre), siendo la media anual de 787 mm (periodo 1977-2000; García-Oliva et al., 2002). La precipitación reportada en el año 2014 (año del estudio) fue de

1,156 mm (Fig. 2), valor que fue superior a la media anual histórica. La humedad relativa de la atmósfera se mantiene arriba del 65% durante todo el año. De enero a abril son los meses de menor humedad, seguidos por un aumento (80%) entre mayo y junio, y alcanzando la máxima (90%) entre agosto y septiembre (García-Oliva et al., 2002). La temperatura media anual es de 25 °C; el promedio de la temperatura máxima es de 30 °C y la mínima es de 19 °C (1978-2000). Los valores máximos se presentan entre junio y septiembre, debido principalmente a la presencia de humedad atmosférica (García-Oliva et al., 2002).



**Figura 2.** Precipitación mensual durante el año del estudio (2014). Datos obtenidos de la Estación Meteorológica Manual de la Estación de Biología Chamela, UNAM.

### **Biodiversidad**

La Reserva de la Biosfera de Chamela-Cuixmala pertenece a la ecoregión de Bosques Tropicales Secos de Jalisco (Noguera et al., 2002). Protege 10 diferentes tipos de vegetación con más de 1,150 especies de plantas. El bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 2006), también conocido como selva baja caducifolia (Miranda y Hernández 1963), es la vegetación predominante en la reserva, asociada en algunos sitios con selva mediana subcaducifolia, vegetación riparia y humedales (Dinerstein et al., 1995; Noguera et al., 2002).

El bosque tropical caducifolio se caracteriza porque la mayoría de la vegetación pierde sus hojas durante la temporada seca (Rzedowski, 2006). Este

tipo de vegetación se encuentra principalmente en las lomas en donde el sotobosque es denso y la altura de los árboles no sobrepasa los 15 m; entre las especies vegetales más comunes están: *Cordia alliodora*, *Croton pseudoniveus*, *Croton sp.*, *Lonchocarpus lanceolatus*, *Trichilia trifolia*, *Thouinia parvidentata*, *Caesalpinia eriostachys*, *Amphipterygium adstringens* y *Randia thurberi* (Lott, 1993).

En la región de Chamela, la diversidad de hábitats terrestres, así como la gran heterogeneidad ambiental, hacen que se encuentre representada una amplia variedad de animales, que incluyen a 72 especies de mamíferos silvestres, de las cuales 18 son endémicas; 270 especies de aves, con 24 especies endémicas; 19 especies de anfibios y 68 de reptiles, 42 de las cuales son endémicas; y más de 1,900 especies de invertebrados (Noguera et al., 2002). Además, en el interior de la reserva no existe ningún asentamiento humano, por lo que la poca alteración de la vegetación se debe a fenómenos naturales, como el huracán Jova en 2011. No obstante, la reserva está sujeta a una presión externa creciente, debido al desarrollo regional de las actividades agropecuarias y turísticas, incluyendo la ampliación de la Carretera Federal 200 y vías secundarias, actividades que afectan a la conservación de la biodiversidad de la región.

### **Diseño del estudio**

El estudio se llevó a cabo en la Carretera Federal México 200 “Barra de Navidad – Puerto Vallarta”, la cual es una carretera interestatal construida en la primera mitad de la década de los 70s, de dos carriles con un ancho de carpeta de 7.6 a 8 m sin acotamientos, con un tránsito diario promedio anual de 3,900 vehículos según la MIA del proyecto de ampliación (SCT. MIA-R, 2015). De esta carretera, solo se estudió un tramo de aproximadamente 41 km, que abarca desde el entronque “El Tecuán” en el sur, hasta el poblado de Pérula en el norte, incluyendo un tramo adyacente a la RBCC de aproximadamente 21 km (Fig. 1).

## Muestreo de atropellamiento de animales

El muestreo de atropellamiento de animales se llevó a cabo del mes de enero al mes de septiembre de 2014, teniendo un total de 193 días de muestreo, de los cuales, 110 días (enero-mayo) corresponden a la temporada de secas y 83 (junio-septiembre) a la temporada de lluvias. El muestreo se realizó usando dos métodos: (1) en vehículo, con dos recorridos por semana (lunes y viernes) a una velocidad promedio de 60 km/h a lo largo de los 41 km, y (2) caminando cuatro transectos de 8 km semanalmente (martes, miércoles, sábado y domingo). Los recorridos en vehículo y a pie se realizaron a partir de las 8:00 am. Aunque en la literatura se menciona que los recorridos en vehículo se pueden realizar a una velocidad entre 20 y 50 km/h para una mayor detectabilidad de los cadáveres (Collinson et al., 2014), por razones de seguridad en esta carretera se condujo a una velocidad promedio de 60 km/h.

La utilización de estos dos tipos de muestreo tuvo como finalidad complementar los datos recabados por cada uno. Aunque en los recorridos con vehículo se recorre una mayor distancia en menor tiempo, tienen el inconveniente de no poder detectar los animales de talla pequeña, como roedores, ranas y serpientes pequeñas, debido a la velocidad a la que se realiza. Por otro lado, los muestreos a pie, al ser más lentos, aumentan la detectabilidad de los animales, con el inconveniente de que se recorre una distancia menor (Langen et al., 2007; Collinson et al., 2014).

Para cada uno de los animales atropellados encontrados, se registró la fecha, su ubicación geográfica con ayuda de un GPS (GARMIN-Etrex), su identificación a nivel de especie, si se encontró en recta o curva (diseño carretero) y el tipo de cobertura vegetal adyacente (selva baja conservada, selva baja perturbada y cobertura rural). La determinación del taxón se llevó a cabo en el sitio. Todos los individuos se retiraron del camino para evitar un posible recuento. Los animales que no pudieron ser determinados en el sitio, fueron colectados y transportados en bolsas de plástico etiquetadas para su posterior identificación con ayuda de guías de campo (García y Ceballos, 1994; Howell y Webb, 1995; Ceballos y Miranda, 2000). La nomenclatura de las especies se basó en lo registrado para la región de Chamela, por García y Ceballos (1994), Arizmendi *et al.* (2000) y Ceballos y Miranda (2000). Las actualizaciones en la

taxonomía de aves se hizo consultando la lista de la American Ornithologists Union (AOU, 1998) y suplementos.

### **Abundancia y diversidad**

Para determinar la diversidad y abundancia de los animales atropellados, se juntaron los registros de los dos tipos de muestreo y se incluyeron todas las especies registradas (silvestres y domesticas). Asimismo, se obtuvo una estimación anual para los 41 km estudiados, a partir del número total de animales atropellados en los 9 meses. Para evaluar la diversidad de especies se utilizaron las medidas de “diversidad verdadera” (Jost, 2006), usando el paquete estadístico “entropart” (Marcon y Zhang, 2014) en la versión 3.1.3. del programa R (R Core Team, 2015).

La “diversidad verdadera”, “números de Hill” o “número efectivo de especies”, se calcula a partir de la fórmula:

$${}^qD = \left( \sum_{i=1}^S \bar{p}_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Dónde:  ${}^qD$  es la diversidad verdadera de orden  $q$ ,  $p_i$  es la abundancia relativa de cada especie,  $S$  es el número de especies, y  $q$  es el orden de la diversidad, el cual define la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de las especies (Jost, 2006, 2007; Tuomisto, 2010a, b, 2011). En este estudio se consideraron tres órdenes de  $q$  (0, 1 y 2). La diversidad de orden cero ( ${}^0D$ ), equivale a la riqueza de especies ( ${}^0D = S$ ); la diversidad verdadera de orden 1 ( ${}^1D$ ) da una importancia proporcional a la abundancia de cada especie.  ${}^1D$  es interpretado como el número equivalente de especies comunes o típicas de una comunidad (Jost, 2006, 2007). Finalmente,  ${}^2D$  favorece a las especies dominantes, por lo que puede ser interpretado como el número de especies "muy abundantes" o "dominantes" en la comunidad (Jost, 2006). Estas medidas de diversidad cumplen con la propiedad de duplicación, y se expresan en las mismas unidades (número efectivo de especies), lo que permite compararlas entre sí para identificar cambios en sus abundancias (Jost, 2006, 2007, 2010).

## **Tasas de mortalidad**

Las tasas de mortalidad por atropellamiento se estimaron mediante el índice kilométrico de abundancia (IKA), el cuál expresa el número de animales observados por distancia recorrida (km) por tiempo (día) (ind/km/día; Espinosa et al., 2012). El cálculo de las tasas de mortalidad se realizó para cada uno de los dos tipos de muestreo (vehículo y pie), y para cada una de las clases de vertebrados estudiadas.

## **Ubicación de los “hotspots”**

Para determinar los patrones espaciales de la ocurrencia de atropellamientos, se identificaron los sitios con más atropellamientos (hotspots), utilizando las coordenadas geográficas de cada uno de los registros de atropellamientos a lo largo de los 41 km. En base a Ramp et al. (2005), se aplicó un análisis de datos de trama (raster) mediante el sistema de información geográfica ArcGIS v.10.0 (ESRI, 2015). Se generaron mapas de densidad de atropellamientos y de puntos críticos, tanto para el número total de atropellamientos, como para las cuatro clases de vertebrados. Estos mapas fueron obtenidos mediante la densidad Kernel, la cual calcula una magnitud por unidad de área a partir de puntos o polilíneas para adaptar una superficie suavemente estrechada a cada uno de estos (ESRI, 2015). Esta clase de mapas ofrece ventajas prácticas en el análisis espacial de eventos puntuales, permitiendo visualizar y examinar los patrones, tales como los hotspots de atropellamientos en este estudio (CONASET, 2010).

## **Cobertura vegetal adyacente**

Para la relación de la cobertura vegetal adyacente y la comunidad de animales atropellados, se estableció un radio de 50 m desde cada punto sobre el centro de la carretera donde ocurrió cada evento de atropellamiento. Dentro de este radio se determinó el tipo de cobertura vegetal más dominante, adyacente a la carretera. La cobertura vegetal se clasificó en 3 categorías: 1) cobertura rural (zonas de agricultura, poblados; R), 2) selva baja conservada

(zonas con presencia de árboles y vegetación cerrada; SBC) y 3) selva baja perturbada (zonas con presencia de arbustos y zonas de claros; SBP).

Para determinar si existían diferencias significativas en la riqueza de especies observadas en cada una de las categorías, en relación a lo esperado, se realizó una prueba de bondad de ajuste (Ji-cuadrada). Las frecuencias esperadas se estimaron a partir de las frecuencias observadas y la proporción que tiene cada categoría dentro de los 41 km del estudio.

### **Estacionalidad climática**

Los muestreos abarcaron la temporada de secas (de enero a finales de mayo) y lluvias (de finales de mayo a septiembre), esto con el fin de determinar la relación entre estas temporadas y los atropellamientos de vertebrados. Para determinar si existían diferencias significativas entre la riqueza observada y la estimada de animales atropellados entre cada una de las dos temporadas, se realizó una prueba de bondad de ajuste (Ji-cuadrada). Las frecuencias esperadas, se estimaron a partir de las frecuencias observadas y la proporción de días de la temporada de secas (129) y lluvias (64). Para analizar el efecto de la temperatura y precipitación sobre la tasa de mortalidad por mes, se realizaron pruebas de correlación. Para ello, se utilizaron los valores de temperatura y precipitación del mes de enero al mes de septiembre, proporcionados por la estación climatológica de la Estación de Biología Chamela (UNAM).

### **Diseño carretero**

Se determinó si el animal atropellado se localizaba en recta o curva, de acuerdo con las observaciones hechas sobre el terreno, para determinar las rectas y curvas de la carretera, primero se establecieron a través Google Earth (Google, 2014). Posteriormente se condujo por los 41 km y se fueron colocando puntos con respecto a la visibilidad que el conductor tenía sobre la carretera para ubicar donde iniciaba y donde terminaba una recta y curva, por último se corroboró que coincidiera lo determinado en el mapa con lo registrado en campo. Para establecer si existían diferencias significativas de la riqueza observada de animales atropellados entre los dos diseños de la carretera, se realizó una prueba de bondad de ajuste (Ji-cuadrada). Las frecuencias esperadas se

estimaron a partir de las frecuencias observadas y la cantidad en km que tienen las rectas (26.1 km) y las curvas (14.9 km) dentro de los 41 km del estudio.

### **Tráfico vehicular en temporada de vacaciones**

Las temporadas de vacaciones se definieron de acuerdo al calendario escolar de la Secretaría de Educación Pública (SEP), el cual indicó, para el año 2014, como temporadas de vacaciones del 13 al 26 de abril (vacaciones de “Semana Santa”) y del 15 de julio al 18 de agosto (vacaciones de verano). Para saber si el flujo vehicular era mayor durante las temporadas vacacionales, se realizó el conteo de vehículos que circulaban durante una hora en la mañana (9:00 – 10:00 hrs) en tres diferentes puntos de la carretera por la misma persona, realizando un punto por día. Estos conteos se realizaban los días que se muestreaba los atropellamientos (6 días a la semana) una semana antes de la temporada vacacional, durante la temporada vacacional y hasta una semana después de la temporada vacacional. Para establecer la relación entre el número de vehículos por semana, durante los periodos vacacionales (Semana Santa, 4 semanas y vacaciones de verano, 7 semanas) y el número de animales atropellados por semana, se realizó una correlación para cada uno de los periodos vacacionales.

### **Influencia de la cobertura vegetal, diseño carretero, temperatura y precipitación**

Se piensa que los atropellamientos de vertebrados son causados por la acción de varias variables. Para abordar esta problemática se usaron Modelos Lineales Generalizados (GLM's por sus siglas en inglés), mediante los cuales se puede determinar la significancia de la relación de cada variable explicativa (cobertura vegetal adyacente, diseño carretero, temperatura y precipitación) cuando actúan de manera aditiva, sobre las variables de respuesta ( $D^0$ ,  $D^1$ ,  $D^2$  y tasa de mortalidad).

Los 41 kilómetros muestreados se dividieron en tramos de 1 km (41 tramos, sub-muestras) para llevar a cabo los análisis estadísticos. De estos km, se seleccionaron aquellos (34) que presentaran los dos tipos de muestreo (pie y vehículo) y así tener el mismo esfuerzo de muestreo. Usando el paquete

estadístico “entropart” (Marcon y Zhang, 2014) en el programa R (R Core Team, 2015), se obtuvo la cobertura de muestra (completitud muestral) de cada una de las 34 unidades de 1 km y se seleccionaron las unidades que tuvieron una cobertura > 70% (n = 23). Posteriormente, se eligieron los tramos que presentaran una cobertura de vegetación adyacente de tipo selva baja conservada (SBC) y selva baja perturbada (SBP) y que presentaran los dos tipos de diseño carretero (recta y curva), de esta manera se obtuvo un total de 14 tramos no consecutivos, lo que permitió incrementar la independencia entre ellos.

Uno de los problemas en los modelos múltiples es la colinealidad, la cual es un alto grado de correlación (dependencia lineal) entre dos o más variables explicativas que impide aislar su influencia independiente (Jeeshim y KUCC, 2002; Mela y Kopalle, 2002; Valle y Guerra, 2012). Para detectar y evitar problemas de colinealidad en los modelos múltiples, se estimó el factor de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés; Freund et al., 2003; Kutner et al., 2004; Robinson y Schumacker, 2009; San José, 2013). El VIF mide el impacto de colinealidad entre las variables explicativas en un modelo de regresión, este factor se calcula como  $(1 / (1-R^2))$ , el valor calculado no debe de exceder de 10, ya que si es superior indicaría colinealidad severa (Belsley et al., 1980; Kutner et al., 2004; Robinson y Schumacker, 2009; San José, 2013). Dado que todos los factores mostraron valores de VIF menores a 2, no se encontró evidencia de colinealidad entre factores, i.e. se pueden considerar independientes.

Como se sugiere para variables de tipo conteo, en el GLM para la diversidad de orden 0 se usó una distribución de errores tipo Poisson (Crawley 2002), mientras que en el GLM para la diversidad de orden 1 y 2 se analizaron fijando una distribución Normal.

La estimación de las tasas de mortalidad se realizó para los 34 tramos (de 1 km de extensión c/u) que presentaron los dos tipos de muestreo (pie y vehículo). Posteriormente se seleccionaron aquellos que presentaran una cobertura vegetal adyacente de tipo SBC o SBP y que presentaran alguno de los dos tipos de diseño carretero (recta y curva), resultando 25 tramos seleccionados. Posteriormente a la estimación de las tasas de mortalidad y las variables, se realizó un GLM con una distribución de tipo Gaussiana.

Posteriormente se utilizó la aproximación de inferencia de modelos múltiples (Burnham y Anderson 2002) para simplificar los modelos e identificar los factores que presentaron una asociación mayor con cada variable de respuesta. Esta aproximación asume que pueden existir varios modelos con plausibilidad (probabilidad) variable. Para evaluar la plausibilidad de los modelos se utilizó el criterio de información Akaike (AIC) corregido para muestras pequeñas (AICc). El AICc permite comparar los modelos y el más plausible es aquel con menor AICc. Los modelos con AICc similares pueden ser igualmente plausibles. Por lo que, se calcula la diferencia en AICc entre cada modelo, y el modelo más plausible es aquel que presenta una diferencia mayor que 2 con respecto a los demás modelos (Burnham y Anderson 2002).

## Resultados

### Abundancia y diversidad

Se registraron un total de 3,850 animales atropellados de 160 especies, de los cuales 3,557 se identificaron hasta especie, mientras que los 293 restantes solo se ubicaron en alguna de las cuatro clases. Además, si las condiciones encontradas en los meses enero-septiembre se mantuvieran para el resto de año, la extrapolación anual para los 41 km de carretera donde se llevó a cabo el estudio sería de 5,133 animales atropellados. Todos los individuos registrados fueron especies silvestres de la zona, a excepción de perros (*Canis lupus familiaris*; 9 ind.), gatos (*Felis silvestris catus*; 11 ind.) y ratas (*Rattus norvegicus*; 1 ind. y *Rattus rattus*; 1 ind.). En términos de magnitud, la clase de anfibios fue la más afectada con 2,089 individuos (54.2%), seguida de 807 individuos de reptiles (21.1%), 671 individuos de mamíferos (17.4%) y 283 individuos de aves (7.3%) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Diversidad Taxonómica de todos los vertebrados atropellados, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

Clase	Individuos (ind. no identificados)	Órdenes	Familias	Géneros	Especies	Especies de la región
Anfibios	2,090 (18 no identificados)	1	5	12	15	20
Reptiles	807 (12 no identificados)	3	16	43	50	59
Aves	283 (38 no identificados)	12	25	49	55	217
Mamíferos	670 (225 no identificados)	6	16	33	40	69
Total	3,850	22	62	137	160	365

Las especies *Incilius marmoreus* (anfibio), *Didelphis virginiana* (mamífero), *Aspidoscelis lineattissima* (reptil) y *Cyanocompsa parrellina* (ave), fueron las más abundantes dentro de sus respectivas clases. De todas las especies, dos anfibios fueron los que presentaron el mayor número de eventos de atropellamientos: *Incilius marmoreus* (21.2%) y *Agalychnis dacnicolor* (11.2%; Tabla 3).

**Tabla 3.** Número de individuos atropellados de las diez especies más abundantes por Clase, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

<b>Especies</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Individuos</b>	<b>% por clase</b>	<b>% del total</b>
<b>Total de Anfibios</b>		<b>2089</b>	<b>100</b>	<b>54.2</b>
<i>Incilius marmoratus</i>	Sapo jaspeado	820	39.3	21.3
<i>Agalychnis dacnicolor</i>	Ranita verduzca	431	20.6	11.1
<i>Incilius mazatlanensis</i>	Sapito pinto de Mazatlán	230	11	6
<i>Smilisca baudini</i>	Rana de árbol mexicana	216	10.3	5.6
<i>Rhinella marina</i>	Sapo gigante	193	9.2	5
<i>Trachycephalus typhonius</i>	Rana arborícola lechosa	72	3.4	1.9
<i>Lithobates forreri</i>	Rana del zacate	46	2.2	1.2
<i>Exerodonta smaragdina</i>	Ranita arbórea esmeralda	14	0.7	0.4
<i>Tlalocohyla smithii</i>	Rana de árbol mexicana enana	9	0.4	0.2
<i>Leptodactylus melanonotus</i>	Ranita hojarasca	8	0.4	0.2
Otros		50	2.4	1.3
<b>Total de Reptiles</b>		<b>807</b>	<b>100</b>	<b>21.1</b>
<i>Aspidoscelis lineattissima</i>	Huico de líneas de Jalisco	116	14.4	3
<i>Boa constrictor</i>	Boa	47	5.8	1.2
<i>Anolis nebulosus</i>	Abaniquillo pañuelo del Pacífico	41	5.1	1.1
<i>Leptodeira maculata</i>	Escombrera del suroeste Mexicano	41	5.1	1.1
<i>Imantodes gemmistratus</i>	Culebra cordelilla centroamericana	38	4.7	1
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	Víbora sorda	37	4.6	1
<i>Oxybelis aeneus</i>	Bejuquillo	32	4	0.8
<i>Sceloporus melanorhinus</i>	Lagartija espinosa de hocico negro	27	3.3	0.7

**Tabla 3.** (Continuación).

<i>Leptophis diplotropis</i>	Culebra-perico gargantilla	26	3.2	0.7
<i>Tantilla calamarina</i>	Culebra ciempiés del litoral del Pacífico	26	3.2	0.7
Otros		376	46.6	9.8
<b>Total de Aves</b>		<b>283</b>	<b>100</b>	<b>7.3</b>
<i>Cyanocompsa parrellina</i>	Colorín azul-negro	29	10.2	0.8
<i>Volatinia jacarina</i>	Semillero brincador	26	9.2	0.7
<i>Icterus pustulatus</i>	Bolsero dorso rayado	19	6.7	0.5
<i>Nyctidromus albicollis</i>	Chotacabras pauraque	19	6.7	0.5
<i>Passerina leclancherii</i>	Colorín pecho naranja	17	6	0.4
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero asurcado	11	3.9	0.3
<i>Passerina ciris</i>	Colorín sietecolores	10	3.5	0.3
<i>Icterus cucullatus</i>	Bolsero encapuchado	8	2.8	0.2
<i>Trhyothorus Sinaloa</i>	Chivirín sinaloense	7	2.5	0.2
<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma arroyera	6	2.1	0.1
Otros		131	46.3	3.4
<b>Total de Mamíferos</b>		<b>671</b>	<b>100</b>	<b>17.4</b>
<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache	107	15.9	2.8
<i>Nasua narica</i>	Coatí	65	9.7	1.7
<i>Liomys pictus</i>	Ratón espinoso	53	7.9	1.4
<i>Pteronotus parnellii</i>	Murciélago-bigotudo de Parnell	25	3.7	0.6
<i>Procyon lotor</i>	Mapache boreal	24	3.6	0.6
<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas	18	2.7	0.5
<i>Sigmodon alleni</i>	Rata de la caña del Pacífico	12	1.8	0.3

**Tabla 3.** (Continuación).

<i>Felis silvestris catus</i>	Gato domestico	11	1.6	0.3
<i>Oryzomys couesi</i>	Rata arrocera de Coues	10	1.5	0.2
<i>Osgoodomys banderanus</i>	Rata arrocera	10	1.5	0.2
Otros		336	50.1	8.7

---

Del total de especies registradas (160), 50 fueron endémicas para México. Con respecto a su estatus de conservación, 6 se encontraron en alguna categoría de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN (IUCN, 2014), 11 se encontraron del Apéndice II y 2 dentro del Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de fauna y flora silvestres (CITES, 2014). A nivel nacional 33 se encontraron en alguna categoría de la NOM-059-2010 (SEMARNAT, 2010), de las cuales, una (*Leopardus pardalis*) se encontró en la categoría de Peligro de Extinción (Apéndice).

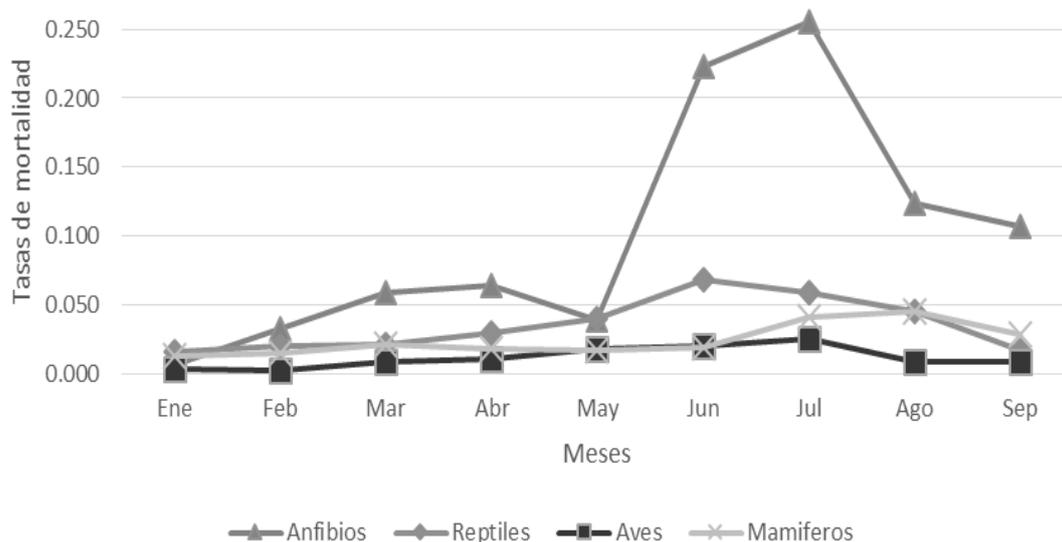
### **Tasas de mortalidad**

La tasa de mortalidad de vertebrados atropellados registrada en el tramo de 41 km durante nueve meses fue de 0.06 ind/km/día para el muestreo en vehículo y 1.5 ind/km/día para el muestreo a pie. La clase de anfibios fue la que presentó una mayor tasa de mortalidad, seguida de reptiles, mamíferos y aves para el muestreo en pie, mientras que para el muestreo en vehículo la clase que presentó una mayor tasa de mortalidad fue la de mamíferos, seguida de reptiles, anfibios y aves (Tabla 4). También es importante notar que los valores obtenidos en los muestreos a pie fueron mayores por uno o dos órdenes de magnitud, comparados con los valores de muestreos por vehículo, en los cuatro grupos muestreados.

**Tabla 4.** Tasas de mortalidad de los dos tipos de muestreo, para cada una de las cuatro clases de vertebrados atropellados, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

Grupo	Vehículo (ind/km/día)	Pie (ind/km/día)
Anfibios	0.012	0.9
Reptiles	0.018	0.3
Aves	0.01	0.1
Mamíferos	0.02	0.2
Total	0.06	1.5

En las tasas de mortalidad por mes para cada una de las cuatro clases se observaron algunas diferencias (Fig. 3). La tasa de mortalidad fue mayor en anfibios comparada con las demás clases, teniendo el pico más alto en el mes de julio (0.25 ind/km/día). Las aves mostraron la tasa de mortalidad más alta en el mes de julio (0.026 ind/km/día), mientras que los mamíferos la tuvieron en agosto (0.046 ind/km/día) y los reptiles en junio (0.069 ind/km/día).

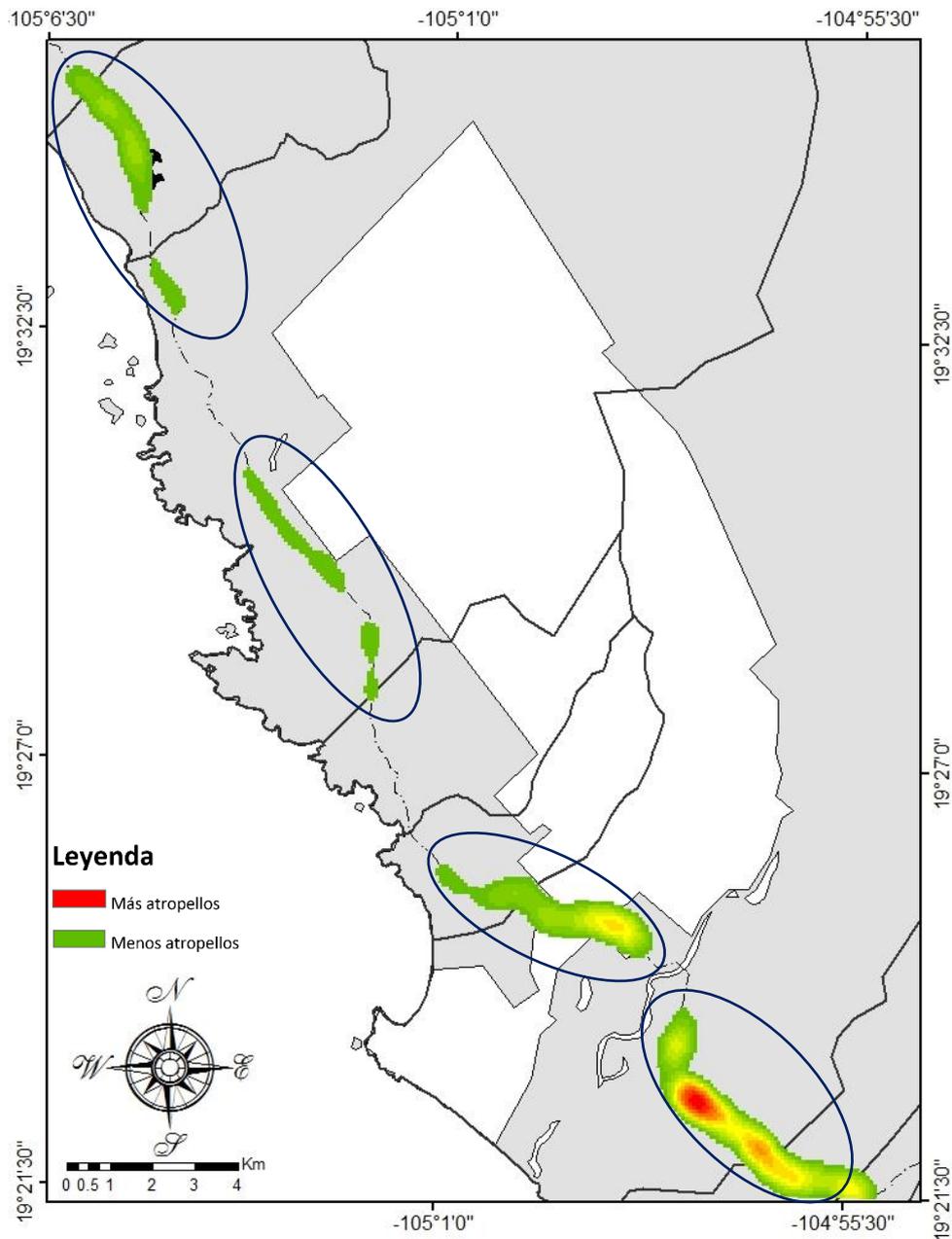


**Figura 3.** Variación temporal en las tasas de mortalidad (ind/km/mes) por clase de vertebrados atropellados, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

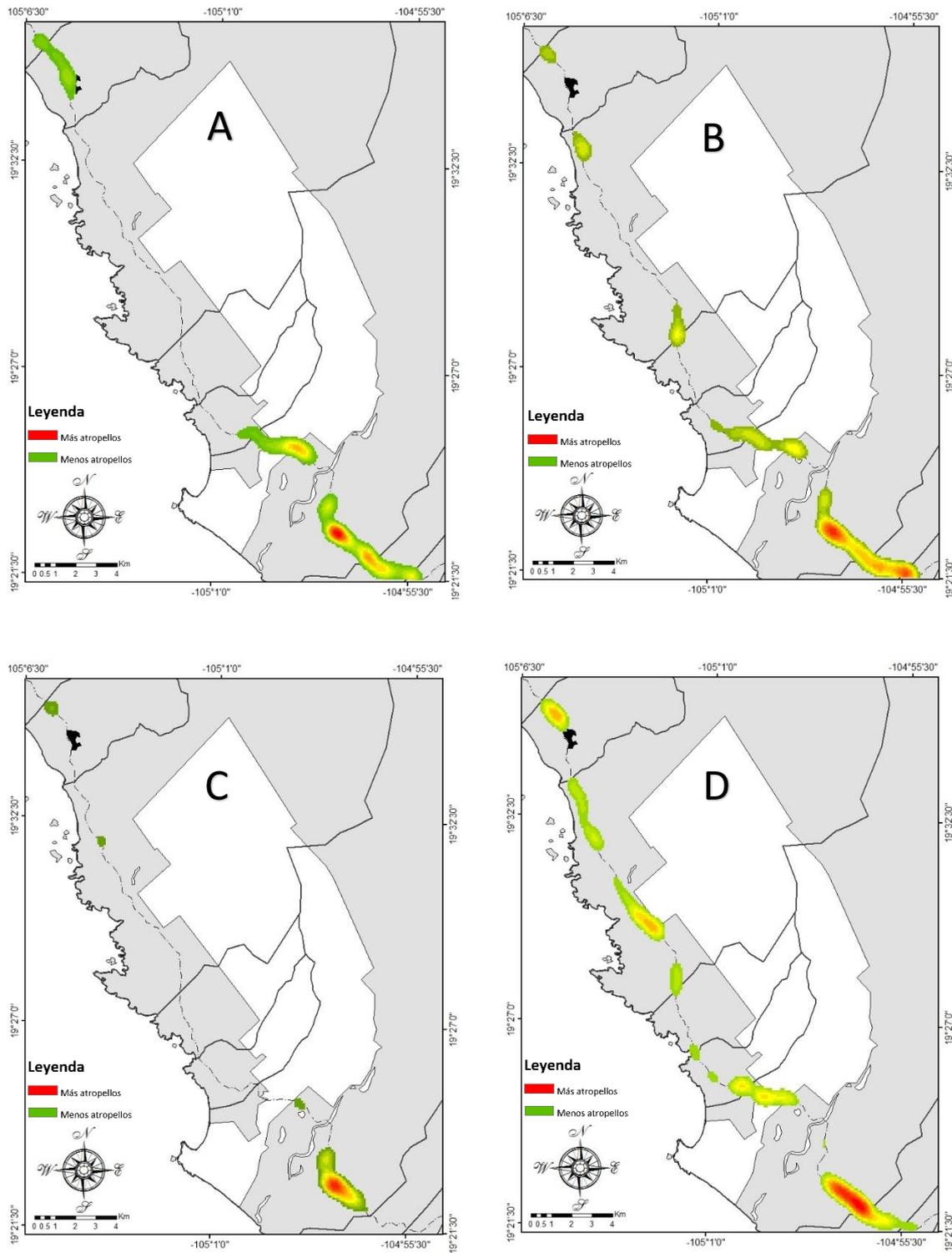
## Ubicación de los “hotspots”

Los atropellamientos no se dieron de manera uniforme, sino que estuvieron concentrados en algunos tramos particulares de la carretera (Fig. 4). La mayor concentración de atropellamientos totales de vertebrados se localizó al sur de la carretera en un tramo recto de aproximadamente 1.5 km, ubicado después de los pueblos de Villa y Zapata. Este tramo es la recta más grande de los 41 km de carretera muestreados. Un segundo tramo de concentración se ubicó a lo largo de 1 km aproximadamente en el punto único en donde la carretera atraviesa la RBCC. Un tercer tramo se ubicó a la entrada del camino hacia la Estación de Biología Chamela (EBCh). Finalmente, hay un cuarto tramo de concentración en la zona norte de la carretera.

Los tramos de concentración de atropellamientos para cada una de las cuatro clases de vertebrados (Fig. 5 (a-d)) fueron en general similares a los de las clases combinadas. Para los anfibios, se identificaron tres hotspots (Fig. 5a), dos corresponden a los del mapa general y el tercero se ubica en la parte norte de la carretera, el cual se encuentra cercano al poblado de San Mateo y que presenta zonas de agricultura. En este hotspot (15.9%) más los dos anteriores (74.9%), se concentraron el 90.8% del total de anfibios atropellados. En los reptiles se identificaron cuatro hotspots (Fig. 5b), aunque solo tres son los que presentan más concentración de atropellamientos, dos corresponden a los que se presentan en el mapa general (60.1% del total de reptiles), y el tercero se ubica aproximadamente a la mitad del tramo estudiado (17.8% del total de reptiles), donde se presenta selva baja bien conservada. Para las aves, solo se detectó un hotspot sobresaliente (42% del total de aves; Fig. 5c), el cual se encuentra en la parte sur del tramo estudiado, donde se encuentran zonas de agricultura. Por último, para los mamíferos se ubicaron cuatro hotspots (Fig. 5d), dos corresponden a los mismos del mapa general (49.3% del total de mamíferos). Otro hotspot (15% del total de mamíferos) se encuentra cercano a la reserva (entrada de la EBCh) con selva baja conservada. El cuarto hotspot (11.9% del total de mamíferos) se encuentra en la parte norte del tramo carretero estudiado, que corresponde a la ubicación del poblado de San Mateo y zonas de agricultura.



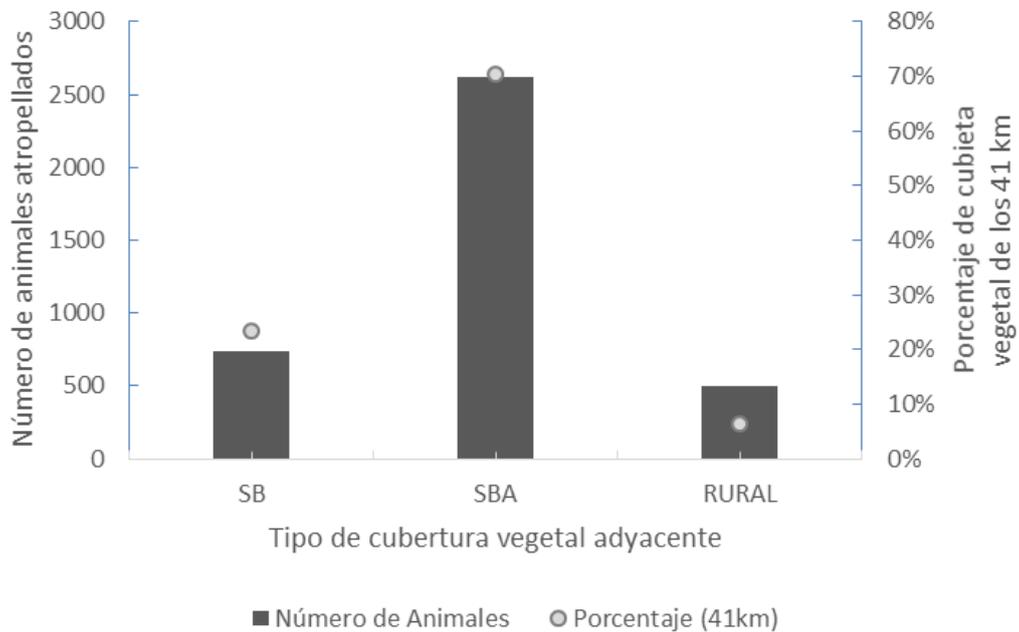
**Figura 4.** Mapa de Hotspots del total de atropellamientos, encerradas en óvalos, las 4 zonas de mayor concentración de atropellamientos, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.



**Figura 5.** Mapa de Hotspots de atropellamientos de A) anfibios, B) reptiles, C) aves y D) mamíferos, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

## Cobertura vegetal adyacente

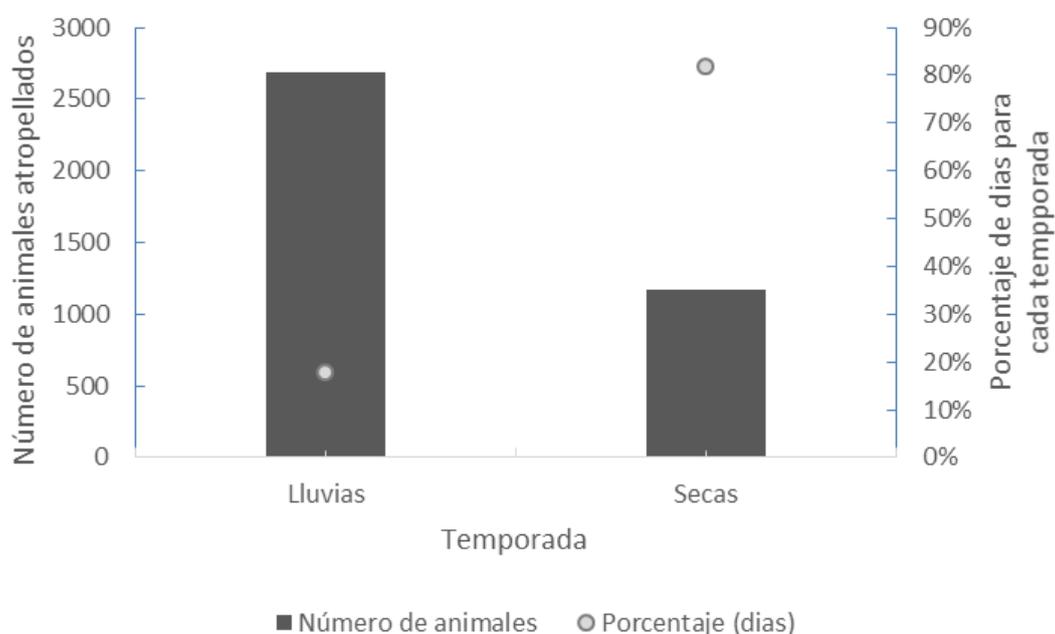
El mayor número de animales atropellados se registró en la selva baja perturbada (SBP; 2616 individuos, 67.9%), seguido por selva baja conservada (SBC; 740 individuos, 19.2%) y por último la cobertura rural (R; 494 individuos, 12.9%). Con respecto al análisis de Ji-cuadrada de bondad de ajuste, este indica que en la SBC el número de animales atropellados es menor que el esperado, mientras que para R, el número de animales atropellados es mayor al esperado; para la SBP el número de animales atropellados es similar al esperado ( $\chi^2=291.46$ , g.l.=2,  $p<0.0001$ ; Fig. 6).



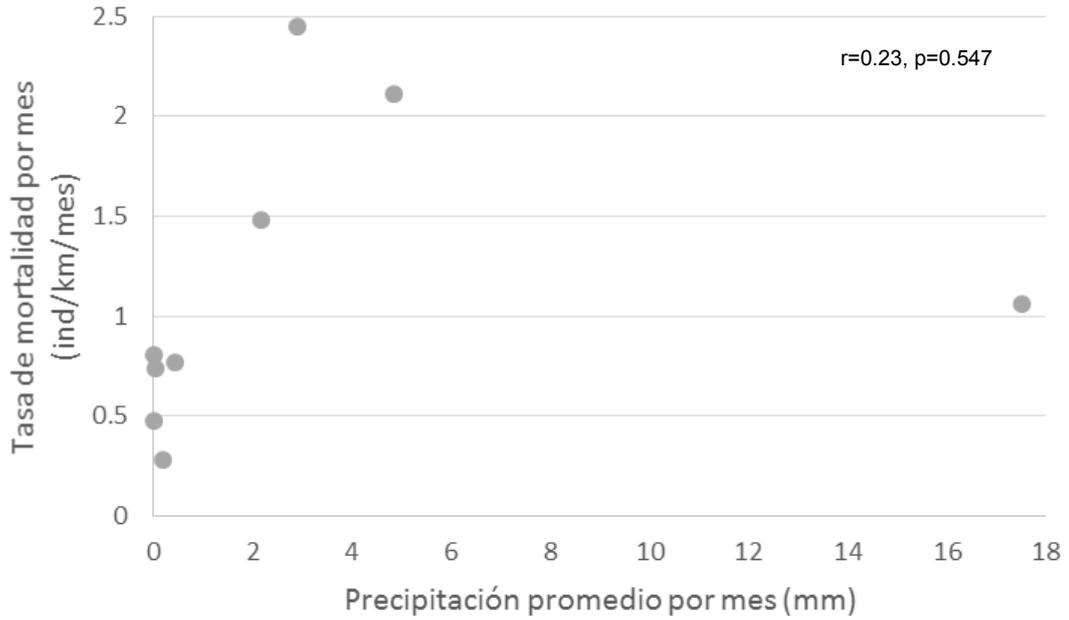
**Figura 6.** Número de animales atropellados por tipo de cobertura vegetal adyacente (SBC=selva baja conservada; SBP=selva baja perturbada; R=cobertura rural) y porcentaje de la longitud del trecho estudiado (41 km) en que se presentó cada cobertura, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

## Estacionalidad climática

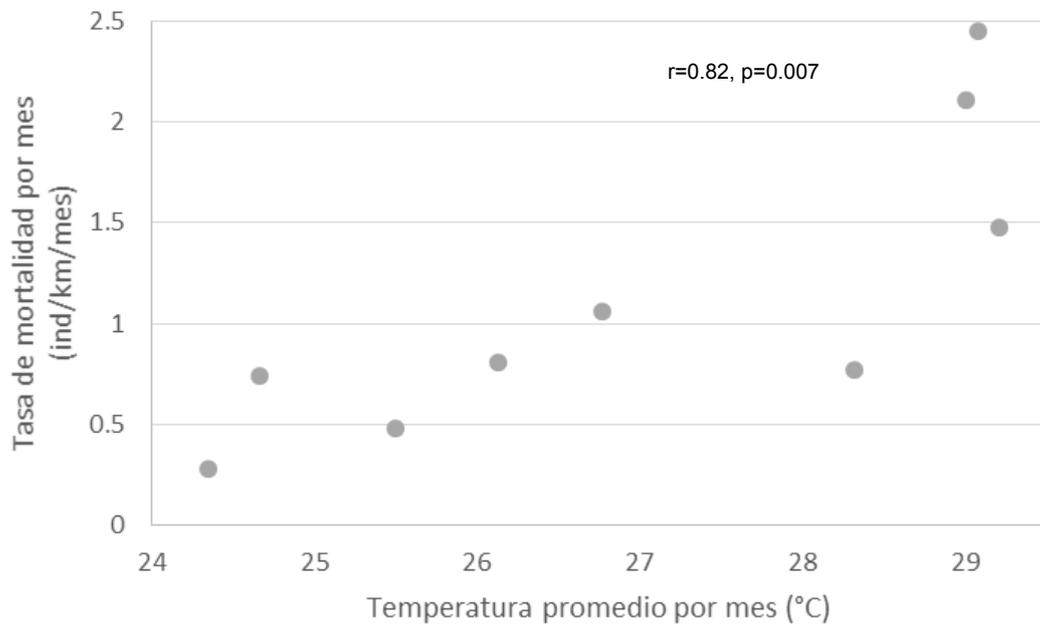
En la temporada de lluvias se registraron más animales atropellados (2684 individuos, 69.7%), que en temporada de secas (1166 individuos, 30.3%) (Fig. 7). Esto no concuerda con lo esperado de acuerdo al esfuerzo de muestreo en cada temporada. El análisis de Ji-cuadrada indica que en lluvias el número de animales atropellados fue mayor al esperado, mientras que en secas el número de animales atropellados fue menor al esperado ( $\chi^2=6975.82$ , g.l.=1,  $p<0.0001$ ). Por otro lado, la tasa de mortalidad por mes no estuvo correlacionada con la precipitación ( $r=0.23$ ,  $p=0.547$ ; Fig. 8). Sin embargo, la tasa de mortalidad por mes sí estuvo correlacionada con la temperatura ( $r=0.82$ ,  $p=0.007$ ; Fig. 9).



**Figura 7.** Número de animales atropellados por temporada y porcentaje de días de cada temporada, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.



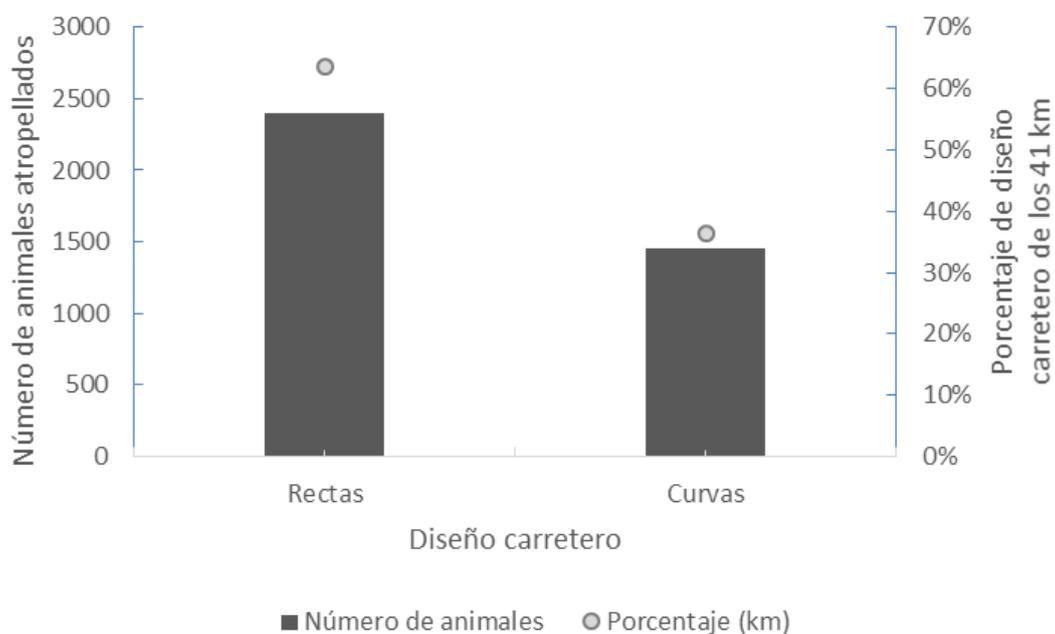
**Figura 8.** Correlación entre la tasa de mortalidad y precipitación por mes, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.



**Figura 9.** Correlación entre la tasa de mortalidad y temperatura por mes, Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

## Diseño carretero

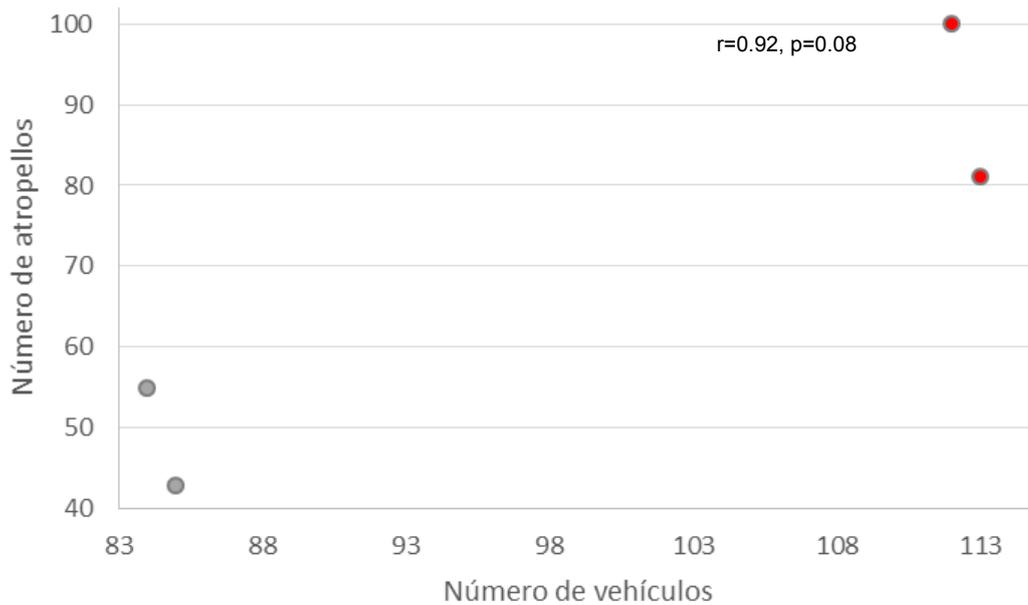
En las rectas se registró un mayor número de animales atropellados (2401 individuos, 62.4%) que en curvas (1449 individuos, 37.6%). Sin embargo, el análisis de Ji-cuadrada indica que en las rectas ocurren menos atropellamientos de lo esperado, mientras que en las curvas ocurren más atropellamientos de lo esperado ( $\chi^2=2.79$ , g.l.=1,  $p=0.09$ ; Fig. 10).



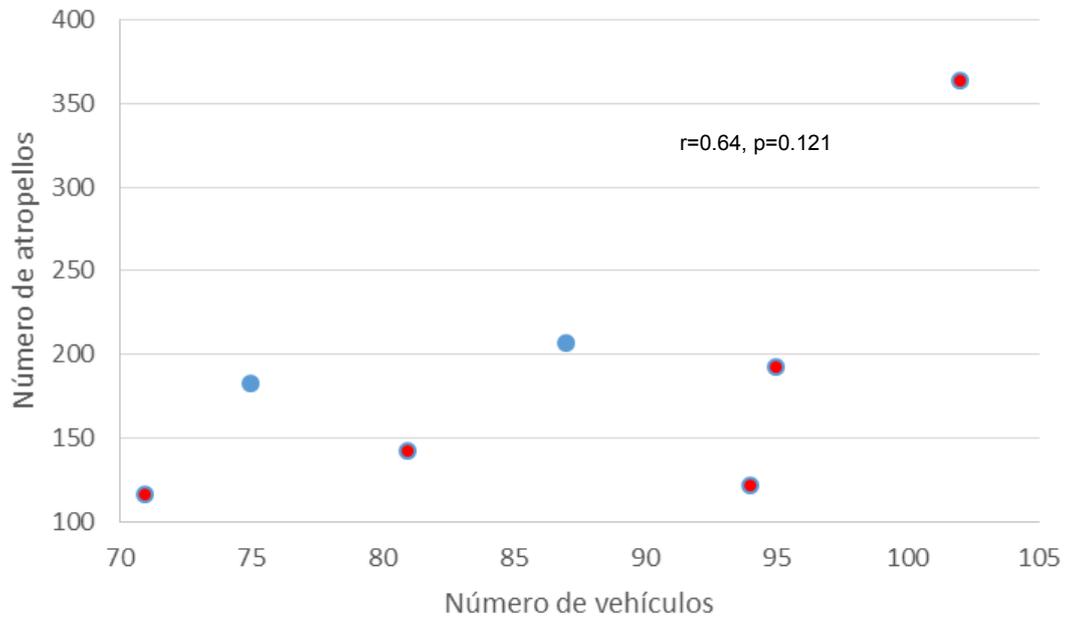
**Figura 10.** Número de animales atropellados por diseño carretero y porcentaje de km de cada diseño carretero, Carretera Federal 200 (Km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

### Tráfico vehicular en temporada de vacaciones

El aumento del número de vehículos no estuvo correlacionado significativamente con el número de atropellamientos en las vacaciones de Semana Santa ( $r=0.92$ ,  $p= 0.08$ ; Fig. 11) y tampoco en las vacaciones de verano ( $r=0.64$ ,  $p= 0.121$ ; Fig. 12).



**Figura 11.** Correlación entre el número de atropellamientos y de vehículos en vacaciones de Semana Santa (en rojo, semanas de Semana Santa), Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.



**Figura 12.** Correlación entre el número de atropellamientos y de vehículos en vacaciones de verano (en rojo, semanas de vacaciones de verano), Carretera Federal 200 (km 32.8-74.2), Chamela, Jalisco. 2014.

## Influencia de la cobertura vegetal, diseño carretero, temperatura y precipitación

La riqueza total de especies ( ${}^0D$ ) estuvo relacionada con la vegetación, diseño carretero y la temperatura mensual, sin embargo, solo el diseño carretero y la temperatura mensual fueron las variables más significativas, como lo muestra el modelo mínimo adecuado obtenido (Tabla 5). La diversidad de orden 1 ( ${}^1D$ ) (especies comunes) estuvo relacionada con el diseño carretero y la precipitación mensual, siendo la precipitación mensual la variable más significativa (Tabla 6). Para la diversidad de orden 2 ( ${}^2D$ ) (especies dominantes), el mejor modelo indicó que estuvo relacionada con la temperatura mensual y la precipitación mensual, siendo esta última, la variable más significativa (Tabla 7). Por último, para la tasa de mortalidad, no se obtuvo modelo mínimo, debido a que el modelo general fue el más adecuado. Este modelo indicó que la precipitación mensual fue la variable más significativa (Tabla 8).

**Tabla 5.** Modelos lineales generalizados para diversidad de orden 0 ( ${}^0D$ ).

	Modelo General		Modelo mínimo adecuado	
	${}^0D$ =vegetación+carretera +temperatura+precipitación		${}^0D$ =vegetación+carretera +temperatura	
AICc	112.43		110.46	
Coeficientes				
	<b>Estimado</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Estimado</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>(Inter)</b>	13.332	0.018	14.47	0.005
<b>Vegetación SBP</b>	0.206	0.226	0.025	0.084
<b>CarreteraR</b>	-0.293	<b>0.008</b>	-0.305	<b>0.005</b>
<b>Temperatura</b>	-0.358	0.086	-0.403	<b>0.037</b>
<b>Precipitación</b>	-0.001	0.627	-----	-----

**Tabla 6.** Modelos lineales generalizados para diversidad de orden 1 ( ${}^1D$ ).

	<b>Modelo General</b>		<b>Modelo mínimo adecuado</b>	
	${}^1D$ =vegetación +carretera +temperatura +precipitación		${}^1D$ =carretera +precipitación	
AICc	85.61		81.73	
Coeficientes				
	<b>Estimado</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Estimado</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>(Inter)</b>	-0.285	0.972	2.506	<2e-16
<b>Vegetación SBP</b>	-0.06	0.808	-----	-----
<b>CarreteraR</b>	-0.175	0.281	-0.183	0.238
<b>Temperatura</b>	0.104	0.734	-----	-----
<b>Precipitación</b>	0.003	0.186	0.003	<b>0.076</b>

**Tabla 7.** Modelos lineales generalizados para diversidad de orden 2 ( ${}^2D$ ).

	<b>Modelo General</b>		<b>Modelo mínimo adecuado</b>	
	${}^2D$ =vegetación +carretera +temperatura +precipitación		${}^2D$ =+carretera +temperatura +precipitación	
AICc	90.05		86.46	
Coeficientes				
	<b>Estimado</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Estimado</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>(Inter)</b>	-7.302	0.466	-3.517	0.607
<b>Vegetación SBP</b>	-0.163	0.595	-----	-----
<b>CarreteraR</b>	0.104	0.628	-----	-----
<b>Temperatura</b>	0.333	0.372	0.192	0.443
<b>Precipitación</b>	0.005	0.08	0.006	<b>0.009</b>

**Tabla 8.** Modelo lineal generalizado para la tasa de mortalidad.

<b>Modelo General</b>		
<b><i>Tasa=vegetación+carretera</i></b>		
<b>+temperatura+precipitación</b>		
AICc	-11.09	
Coeficientes		
	<b>Estimado</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>(Inter)</b>	3.538	0.248
<b>Vegetación SBP</b>	-0.045	0.626
<b>CarreteraR</b>	0.053	0.459
<b>Temperatura</b>	-0.114	0.305
<b>Precipitación</b>	-0.002	<b>0.036</b>

## Discusión

Los resultados de este estudio indican que: 1) el número de animales, número de especies y tasa de mortalidad son de los más altos registrados en este tipo de estudios tanto en México como en otros países; 2) la mayor concentración de atropellamientos se registró en la parte sur del tramo carretero, que se encuentra fuera del área de la RBCC; 3) se obtuvieron más atropellamientos de lo esperado en la cobertura de tipo rural, la temporada de lluvias y las curvas; 4) el número de atropellamiento de animales no tuvo una correlación significativa con el aumento del tráfico vehicular de las temporadas de vacaciones; y 5) la precipitación mensual es la variable más significativa para los diferentes órdenes de diversidad de especies atropelladas y para la tasa de mortalidad.

A continuación se refiere a un estudio, en el que se aplicaron esfuerzos de muestreo lo más similar a este estudio, con muestreo en vehículo y en el que se registraron las cuatro clases de vertebrados.

En la Estación Ecológica de Taiman, una ANP al sur de Brasil, se muestrearon diariamente, por 30 meses en vehículo, un tramo de 15.7 km de una carretera que pasa por la ANP (Bager y Fountoura, 2013). Los autores registraron 1,457 vertebrados (excluyendo anfibios) pertenecientes a 32 unidades taxonómicas (por ejemplo, muchas especies de ratones fueron agrupados en una unidad taxonómicas), con una tasa de atropellamiento de 0.103 ind/km/día. En comparación, a partir del inventario de un tramo de 41 km, durante nueve meses, en el presente estudio se registraron (excluyendo anfibios) 551 ejemplares de vertebrados pertenecientes a 103 especies, obteniéndose una tasa de mortalidad de 0.048 ind/km/día. La cantidad de atropellamiento de animales, así como la tasa de mortalidad son menores a lo registrado por Bager y Fountoura (2013), sin embargo la cantidad de especies afectadas es mayor.

En el contexto mexicano no existe trabajo publicado que pueda ser comparado con el presente estudio, con respecto al tipo de muestreo empleado (pie y vehículo), además, la mayoría de trabajos publicados se enfocan en el atropellamiento de un grupo en particular de vertebrados o el medio en el que realizaron el muestreo fue diferente al utilizado en este estudio. Como en el caso de Grosselet et al. (1998), quienes realizaron un estudio con recorridos en

bicicleta, registrando 201 animales pertenecientes a 20 especies para obtener una tasa de mortalidad de 4.51 ind/día/segmento (1.2 km) que equivale a 3.76 ind/km/día, una tasa alta, comparada con la de este estudio. Por otro lado, González-Gallina et al. (2013) realizaron un estudio con recorridos en vehículo, en un tramo de 14 km entre el estado de Veracruz y Puebla. Durante un periodo de 10 meses y 34 días de muestreo, los autores registraron 946 animales pertenecientes a 58 especies y una tasa de mortalidad de 2.3 ind/km/día. En comparación, en este estudio, a partir del inventario de un tramo de 41 km, durante nueve meses, en el muestreo en vehículo se registraron 682 ejemplares de vertebrados pertenecientes a 110 especies, obteniéndose una tasa de mortalidad de 0.06 ind/km/día. Siendo este último un valor mucho menor que los obtenidos González-Gallina et al. (2013). Además se debe de considerar que para hábitats muestreados en Veracruz y Puebla (arbustos y pastizal) solo reportan 58 especies, mientras que en este estudio se reportó casi el doble de ese valor.

El problema de llevar a cabo una comparación entre trabajos sobre atropellamientos, en nuestro país y con los de otros países, se debe a diversos factores que influyen en la metodología que emplea cada investigador. Como el tipo de vegetación/uso de suelo cercano en los sitios de estudio y por lo tanto el tipo de especies de vertebrados que viven en estos lugares (Collinson et al., 2014). El muestreo enfocado a solo algunas clases de vertebrados o especies, y no a todas las clases de vertebrados (Langen et al., 2007; Collinson et al., 2014). El tipo de muestreo realizado (pie, automóvil, bicicleta o una complementación entre estos; Langen et al., 2007; Collinson et al., 2014; Laurance et al., 2014). La distancia en km que se quiere recorrer en el estudio, así como la periodicidad (diario, semanal, mensual) y duración (meses o años) del muestreo (Collinson et al., 2014; Laurance et al., 2014). Además, un factor muy importante es la cuestión de recursos económicos, ya que muchas veces estos trabajos se ven limitados por falta de dinero.

En este contexto, Collinson et al. (2014), proponen una estandarización de algunos factores a partir de la comparación de varios estudios en el mundo. Entre estos, se encuentra el realizar los muestreos en vehículo a una velocidad máxima de 50 km/h, para obtener datos fiables con respecto al costo y tiempo, y la parte de a pie, solo para buscar los animales detectados o registrar lugares

específicos donde puedan existir especies de talla pequeña. El muestreo se debe realizar por dos personas, un conductor y un pasajero (observador) para garantizar la seguridad de los investigadores y otros usuarios de la carretera, además, recomiendan que el observador debe ser experimentado y, por coherencia, debe ser la misma persona. La hora del muestreo se debe realizar por las mañanas, debido a que el volumen de tráfico es menor y a que se tiene mejor visibilidad con respecto a la luz del sol. Los muestreos se deben de realizar diario, esto para detectar los animales que con el transcurso del día pueden ser removidos de la carretera. Recomendamos por último, una distancia mínima de muestreo de 179 km (dependiendo del objetivo del estudio), para asegurar una estimación precisa de la riqueza de especies.

*Riqueza de especies.* El total de especies registradas fue de 160 (Diversidad del orden cero  ${}^0D$ , Jost 2006). La clase con más especies fue la de aves, seguida de reptiles, mamíferos y anfibios, y esto constituye el 44% del total de especies reportadas para la región (Arizmendi et al. 1990; García y Ceballos, 1994; Ceballos y Miranda 2000). Sin embargo, es necesario resaltar algunos puntos para entender estos valores. Algunos mamíferos que son abundantes en la región, también fueron abundantes en los muestreos (e.g., *Didelphis virginianus*, n=107; *Nasua narica*, n=65). Pero otras especies, que también son relativamente abundantes en la zona (venados y pecaríes), presentaron valores nulos o bajos (ningún venado; un pecaríe) de atropellamiento en este estudio.

Los venados y pecaríes son especies que comúnmente se observan cruzando y en algunos casos, alimentándose de la vegetación en la orilla de la carretera (obs. pers.). Para estas especies se proponen dos factores que se cree están relacionados con los pocos incidentes carreteros registrados: a) los venados y pecaríes cruzan la carretera, pero han desarrollado una capacidad para hacerlo evitando los vehículos (opinión de los conductores locales) y b) los conductores tratan de evitarlos por los daños que pueden provocar a sus vehículos, pero cuando son atropellados o encontrados atropellados, los conductores locales los recogen inmediatamente para consumo (obs. pers. y opinión de conductores locales).

En el caso de los felinos, se registraron tres yaguarundíes (*Puma yagouaroundi*) y un ocelote (*Leopardus pardalis*). Las hipótesis para explicar los

pocos registros para estas especies, tiene varios componentes: a) estos animales son muy cautelosos al cruzar la carretera, lo que resulta en pocas colisiones; b) son animales poco abundantes, por lo que el encuentro con alguno de ellos es más difícil que con especies más abundantes (e.g. *Didelphis virginiana*); c) cuando son atropellados o son encontrados atropellados, la gente los recoge para comerciar con la piel. Para el único registro de ocelote atropellado, el ejemplar fue encontrado y llevado a la EBCh, por una empleada de ésta. En el caso de los yaguarundíes, éstos son felinos parecidos a un gato común, por lo que las personas les prestan menor importancia si los encuentran en la carretera.

Además, se encontraron dos especímenes que por sus hábitos arborícolas no se esperaba encontrar atropellados, la rata de Magdalena (*Xenomys nelsoni*, 3 ejemplares) y el tlacuachín (*Tlacuatzin canescens*, 4 ejemplares). En el caso de la rata de Magdalena, esta es una especie conocida únicamente en dos estados, Colima y Jalisco (EBCh), es una especie endémica y amenazada (NOM-059-2010). Por otro lado, el tlacuachín es el marsupial más pequeño de México y es endémico al Pacífico mexicano.

Con respecto a los reptiles, no se tienen números sobre las abundancias poblacionales de estas especies en la zona. Se sabe que muchas de ellas buscan el calor de la carretera (Arroyave et al., 2006), y en el caso de las serpientes, fue común verlas extendidas vivas en el tramo de carretera estudiado, facilitando de esta manera su atropellamiento. Por ejemplo, en los 41 km recorridos en Chamela, se registraron 47 individuos de *Boa constrictor*. Un elemento especial con serpientes, que no ha sido evaluado sistemáticamente, es que muchos conductores (especialmente locales), cuando encuentran alguna serpiente en la carretera, más que evitarla, tratan de atropellarla. Un refrán popular se refiere a esta situación: “la mejor víbora es la muerta”.

También hay otras especies como las tortugas terrestres que aunque son vistas cruzando la carretera con cierta frecuencia, fueron pocos los registros de estas (cinco registros que se obtuvieron pertenecientes a dos especies; *Kinosternon chimalhuaca* – un espécimen, y cuatro registros de *Rhinoclemmys rubida*), esto tal vez se deba a que se confunden con piedras y los conductores las tratan de esquivar, o que cuando son atropelladas son removidas fácilmente por los vehículos o por carroñeros.

En el caso de las aves, las especies más abundantes fueron especies que se alimentan de semillas (*Cyanocompsa parcellina* y *Volatinia jacarina*). Sin embargo, en pocas ocasiones se vieron a estas especies alimentándose en la orilla de la carretera, como ha sido mencionado en la literatura para otras especies granívoras (Arroyave et al., 2006). Es importante mencionar que la cuarta especie de ave con más registros fue el tapacamino *Nyctidromus albicollis*. Los tapacaminos son un grupo de especies insectívoras que utilizan los caminos rurales en las noches (perchan en el suelo) para alimentarse. El hecho que aparezca atropellada esta especie significa que aún en las carreteras peligrosas (este estudio), los tapacaminos no están evitando esos riesgos y están siendo atropelladas con frecuencia. Cercano al estero Xametla, se registraron seis ejemplares de aves, pertenecientes a cuatro especies, las cuales son asociadas a cuerpos de agua: *Ardea herodias*, *Cochlearius cochlearius*, *Anas discors* y *Dedrocygna autumnalis*. Esto, no obstante que desde su construcción en los años 70's la carretera pasa a menos de 50 metros de los esteros Careyes y Xametla. Los datos generados en este estudio no indican que las aves acuáticas estén amenazadas por la cercanía de la carretera a estos hábitats.

*Hotspots de atropellamientos.* La importancia de la ubicación de los hotspots de atropellamientos radica en que esta información permite detectar las zonas donde hay una mayor afectación a nivel general, por clase y en algunos casos hasta por especie (Cserkés et al., 2013; Eberhardt et al., 2013). Esto, ayuda a conocer los factores que propician más el atropellamiento, de acuerdo con la variabilidad ambiental a lo largo de las carreteras.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que existen cuatro zonas donde se concentra la mayor cantidad de atropellamientos (Fig. 4), de las cuales dos son las más sobresalientes. La primera zona se ubica en el extremo sur de la zona de estudio, donde se encuentra la recta más grande (poco más de 1 km) de la totalidad de los 41 km estudiados. En este tramo los vehículos adquieren velocidades superiores a los 100 km/h y esto incrementa los atropellamientos. Smith-Patten y Patten (2008) mencionan que si algún animal cruza la carretera en el momento que un vehículo circula la carretera y el animal se encuentra a una distancia cercana a este, es muy difícil para el conductor evitar el atropellamiento. Además, al terminar esta recta en la parte norte se encuentra

un poblado, por lo que la circulación de vehículos es mayor que en otras zonas (obs. pers.). Otro factor es que, en gran parte de esta recta, hay zonas de agricultura a ambos lados de la carretera. Las zonas de uso agrícola tienen importancia debido a que proveen de alimento principalmente a aves y roedores (Orlowski y Nowak, 2006; Carvalho y Mira, 2011; Kambourova-Ivanova et al. 2012), lo que coincide con el registro en este estudio, de especies de roedores y de algunas aves granívoras, que presentaron más abundancias en este tipo de zonas. Además, estas condiciones provocan que también aparezcan los depredadores de las especies de aves y roedores (Seo et al., 2013), tales como los registros obtenidos de serpientes y otros reptiles como el *Heloderma horridum*, así como mamíferos de talla mediana como el *Puma yaguaroundi*. De igual forma, las zonas de agricultura también proveen alimento para anfibios, ya que estas zonas albergan una buena cantidad de insectos (Esparza, 2014). Además, estas zonas tienen riego constante de agua, lo que propicia una buena humedad de la tierra, permitiendo buenas condiciones para que los anfibios habiten en estas zonas.

La concentración de atropellamientos en la segunda zona (aprox. 5 km al norte de la primera zona) posiblemente se debió a que este tramo de carretera, al estar más cercano a la RBCC, presenta una mayor abundancia de animales que pueden ser atropellados. Esto coincide con Marina (2010) y Garriga et al. (2012) que mencionan que en las ANPs se pueden encontrar más abundancias de algunas especies debido al grado de conservación y de los recursos necesarios para que habiten en estas zonas. Además, cerca de este tramo hay un cuerpo de agua que se mantiene durante todo el año, lo que provoca que en época de secas, probablemente los animales se acerquen para consumirla y que en la época reproductiva de los vertebrados, principalmente de los anfibios, este cuerpo de agua sea importante. Esto concuerda con Kambourova-Ivanova et al. (2012), quienes registraron que la concentración más alta de anfibios atropellados se encontraba cercana a cuerpos de agua. Otro factor que explicaría la concentración alta de atropellamientos en esta zona, es probablemente el diseño carretero, ya que, se presentan varias curvas, lo que posiblemente provoca una disminución en la visibilidad de los conductores e impide detectar a los animales de todas las tallas que lleguen a cruzar y son atropellados (Klocker et al., 2006).

Para las clases de vertebrados, en general presentaron los dos hotspots más sobresalientes del mapa general, a excepción de las aves, que solo presentaron un único hotspot sobresaliente en la parte sur del tramo estudiado, que coincide con una zona agrícola. Sin embargo, hubo algunas diferencias en los hotspots de las demás clases. En anfibios y mamíferos se presentó un hotspot en la parte norte del tramo estudiado, esto coincide con el poblado de San Mateo, que tiene zonas de agricultura, lo cual propicia buenas condiciones para obtener alimento (Kambourova-Ivanova et al. 2012; Esparza, 2014) y poder habitar en esa zona. Por otra parte, la clase de reptiles y mamíferos presentan otro hotspot cercano al polígono de la RBCC. Esto, se puede deber al grado de conservación, lo que puede coincidir con más abundancias de algunas especies de estas clases (Marina, 2010; Garriga et al., 2012).

*Factores que afectan el atropellamiento.* Con respecto a la cobertura vegetal adyacente, es importante resaltar que en la cobertura rural (R) se registraron más atropellamientos de los esperados, lo cual es muy significativo, puesto que, se esperaba mayor atropellamiento en la cobertura de selva baja conservada (SBC). El que se esperaran más atropellamientos en SBC, es debido a que, en zonas mejor conservadas, hay una menor visibilidad para los conductores, por la presencia de vegetación muy cercana a la carretera (Klocker et al., 2006; RACC, 2011), además, los animales se acercan más a la carretera, porque su hábitat llega hasta el borde de la misma. Sin embargo, no fue así y el que hubiera más atropellamiento en R, pudo ser por varios factores. Uno de ellos, es el mayor tránsito de vehículos en la cobertura rural que en las demás coberturas. Esto debido, a que las personas ocupan el vehículo para dirigirse a sus zonas de cultivo que se encuentran a algunos kilómetros de los poblados, asimismo, hay un mayor tránsito de vehículos que proveen de servicios, como autobuses de pasajeros y mercancía (obs. pers.). Otros factores pueden ser, el tipo de diseño carretero y vegetación escasa. En este caso, en la cobertura rural hay más presencia de rectas que de curvas, además, presenta vegetación escasa o de baja altura (<1m), esto provoca que los conductores tengan más confianza de conducir a mayor velocidad y cuando algún animal cruza, es prácticamente imposible esquivarlo (Borkovcová et al., 2012).

Referente a la temporada de secas y lluvias, se registró un mayor número de animales atropellados de lo esperado en temporada de lluvias, y un menor número de lo esperado en temporada de secas. El que hubiera mayor probabilidad de atropellamiento en temporada de lluvias se debe principalmente a los atropellamientos de anfibios. En temporada de secas varias especies de anfibios se entierran, mientras que lluvias salen para reproducirse (Esparza, 2014; Moreno, 2015 en preparación). Este patrón fue evidente en los datos obtenidos para esta clase, ya que en temporada de secas se registró una menor tasa de atropellamiento (0.2 ind/km/día) que en temporada de lluvias (0.66 ind/km/día). Este patrón es indicativo de que en temporada de lluvias inicia la época reproductiva de los anfibios, lo que ocasiona un incremento en su abundancia y a que crucen la carretera para llegar a las pozas de reproducción. Este fenómeno se pudo observar en algunas pozas que se formaron a escasos metros de la carretera y donde se pudo detectar, que cruzaban individuos de dos de las especies más abundantes en este estudio (*Incilius marmoratus* e *Incilius mazatlanensis*).

Otros casos de relaciones entre actividades reproductivas en ciertas temporadas del año y patrones de atropellamiento también ocurren en otras especies. Por ejemplo, en los coaties (*Nasua narica*) los nacimientos coinciden con el inicio de temporada de lluvias cuando hay una alta disponibilidad de artrópodos para alimentarse (Valenzuela, 1998). Esto coincidió con lo registrado en este estudio, ya que en temporada de lluvias se registraron crías de coatíes, mientras que en temporada de secas solo se registraron adultos. En reptiles como *Aspidoscelis lineatissima*, durante la temporada de lluvias se registraron crías y adultos, mientras que en secas solo adultos. Esto concuerda con Gienger et al. (2002) y Ramírez-Bautista y Pardo-De La Rosa (2002), quienes registraron que el pico de producción de huevos y de mayor movilidad coincide con la temporada de lluvias. Igualmente para *Heloderma horridum* solo se tuvieron registros en temporada de lluvias (6 individuos). Esto coincide con lo registrado por Beck y Lowe (1991) quienes mencionan que la actividad de esta especie comienza a finales de secas y se va incrementando en temporada de lluvias.

Cabe destacar que la correlación entre la precipitación y las tasas de mortalidad por mes no fue significativa, indicando que la tasa de mortalidad no está asociada con el aumento de la precipitación. Esto puede ser, porque los

valores de precipitación y de las tasas de mortalidad se mantienen constantes varios meses (enero-mayo), y solo en el mes de junio y julio se incrementan los valores de precipitación y con ello, el de las tasas de mortalidad, posteriormente en el mes de agosto y septiembre, disminuyen los valores de las tasas de mortalidad y los de precipitación se mantienen constantes. Tal vez, si se hubiera continuado el estudio unos meses más, para tener los datos de todo un año, se corroboraría el que no existe una correlación significativa. Sin embargo, aunque la correlación no fue significativa, se observa la importancia que tiene el aumento de los valores de precipitación, en los de las tasas de mortalidad. Dado que, los meses que presentan más precipitación, presentan valores de tasa de mortalidad de casi el doble, en comparación con los meses donde hay poca o nula precipitación. Con respecto a la correlación entre la temperatura y las tasas de mortalidad, esta fue positiva y significativa, indicando que un aumento de las tasas de mortalidad está relacionado con el aumento de la temperatura (Fig. 9). A pesar de que la temperatura está estrechamente relacionada con la precipitación, este factor por si solo presenta relación con el atropellamiento de animales, esto principalmente por aspectos de la biología de las especies, como procesos de termorregulación en reptiles (Gienger et al. 2002; Ramírez-Bautista y Pardo-De La Rosa 2002; Espinosa et al., 2012) o el incremento de la temperatura del agua en las pozas para la puesta de huevos de anfibios (Esparza, 2014; Moreno, 2015 en preparación).

En el diseño carretero los datos mostraron que se registraron menos atropellamientos en rectas de lo esperado, mientras que en las curvas ocurren más atropellamientos de lo esperado. Esto se puede deber a la disminución de visibilidad que se tiene en las curvas (Klocker et al., 2006), aunque, en las curvas se conduce a una menor velocidad que en las rectas. Las curvas que se encuentran en el tramo estudiado, la mayoría son curvas muy cerradas o estrechas, además, hay paredes de roca muy pegadas a la carretera. Estos dos factores propician poca visibilidad, ya que, si cruza algún animal por las curvas es más fácil ser impactado, además, el conductor tiene menor distancia para maniobrar si quisiera esquivarlo, ya que si lo hiciera, se podría provocar un accidente mayor.

Para las semanas de vacaciones, los datos obtenidos nos muestran que para la primera temporada de vacaciones (Semana Santa), no hubo correlación

entre el tráfico vehicular y el número de atropellamientos (Fig. 11). Esto probablemente se debió a la cantidad de datos utilizados en el análisis ( $n = 4$ ). Probablemente si se hubieran utilizado datos por día y no por semana, la correlación fuera significativa, ya que aunque estadísticamente no fue significativo, se puede observar que sí hay un aumento en el número de animales atropellados al aumentar el número de vehículos. De igual manera, para la segunda temporada de vacaciones (Vacaciones de Verano) no hubo una correlación significativa (Fig. 12). Aunque estadísticamente no fue significativa, se detectó un aumento en el número de animales atropellados al aumentar el número de vehículos en las primeras dos semanas, y las siguientes semanas disminuyó el número de animales atropellados y el número de vehículos. Aunque no hubo correlación significativa en estas temporadas, algunos estudios han reportado que el tráfico vehicular es un factor muy importante para el atropellamiento, ya que en las zonas donde el tráfico vehicular aumenta, también el número de atropellamientos lo hace (Pfeifer et al., 2008; Alves y Bager, 2012; Seo et al., 2013).

*Factores en asociación que afectan el atropellamiento.* Los análisis para cada una de las variables por separado, son importantes para conocer la relevancia que tiene cada una de estas en el atropellamiento de vertebrados. Sin embargo, estas variables no se encuentran aisladas unas de otras, sino, que se encuentran asociadas entre sí, por lo que, se realizó un análisis donde estas se encontraran en asociación (GLM) y así determinar que variable influye significativamente más sobre el atropellamiento de vertebrados. De esta manera se obtuvo que, para el total de especies ( $^0D$ ), las variables más significativas fue el diseño carretero con el valor de recta, y la temperatura mensual con los valores de los meses de más temperatura. Esto indica que el atropellamiento de vertebrados de todas las especies se da en los meses de más temperatura que sería entre mayo y septiembre con una temperatura entre 28-29.5°C y en las rectas de los 41 km muestreados, siendo la recta más importante la que se encuentra al sur del tramos carretero. Para las especies comunes ( $^1D$ ) y especies dominantes ( $^2D$ ), la variable más significativa fue la precipitación mensual con los valores de los meses de más precipitación. Esto se puede deber a que las especies de anfibios (e.g. *Incilius marmoreus* e *Incilius mazatlanensis*) se

encuentran dentro de las especies comunes y dominantes, y son las especies que presentan el mayor número de atropellamientos en los meses de más precipitación (junio-septiembre). De igual manera, la precipitación mensual con los valores de los meses de más precipitación, fue la variable más significativa con respecto a la tasa de mortalidad, debido probablemente a la gran abundancia de anfibios atropellados que están estrechamente relacionados con los meses de más precipitación. .

Al comparar lo obtenido en estos análisis (GLM) con los análisis individuales de algunas variables, se detecta un contraste en los resultados obtenidos. Principalmente con la precipitación mensual, ya que, la correlación no fue significativa entre la tasa de mortalidad y la precipitación mensual. Mientras que, en la mayoría de los GLM para los diferentes órdenes de diversidad y tasa de mortalidad, la variable más significativa fue la precipitación mensual. Este contraste, se puede deber principalmente a los datos utilizados en cada análisis. En la correlación se utilizaron todos los datos registrados en el estudio, mientras que para los GLM se realizó una selección de algunos kilómetros, lo cual, pudo ocasionar que algunas variables fueran más significativas que otras. Sin embargo, ambos análisis son importantes, los individuales porque se puede observar el comportamiento de todos los datos con respecto a una variable, y los GLM, porque permiten observar el comportamiento de los datos con respecto a varias variables en asociación, además, aunque se hizo una selección de datos, estos son una muestra representativa del total. Para estudios posteriores, se recomienda utilizar la mayor cantidad de datos posibles en los análisis, para tener una mayor certidumbre de los resultados obtenidos en cada uno de estos.

## **Conclusiones, limitaciones y usos potenciales del estudio**

En el tramo carretero estudiado de la región de Chamela, existe una fuerte incidencia de atropellamiento de vertebrados de todas las clases que habitan en la región, incluyendo especies que se encuentran dentro de alguna categoría de protección nacional e internacional. La clase más afectada fue la de anfibios, principalmente en la temporada de lluvias que inicia en el mes de junio. Además,

para los diferentes órdenes de diversidad y para la tasa de mortalidad, la variable más significativa fue la precipitación mensual.

Los resultados obtenidos presentan un nivel de subestimación debido a: (i) la depredación de los cadáveres por animales carroñeros; (ii) ocurrencia de la muerte, posterior al atropellamiento, lejos de la carretera; (iii) colecta de los animales muertos por personas; (iv) despedazamiento de los cadáveres.

La utilización de los dos tipos de muestreo fue importante, ya que de esta manera hubo una complementación. En vehículo se recorrió más distancia en menos tiempo, y a pie, se detectaron los animales de talla pequeña, que muchas veces fue difícil detectar en vehículo. Se recomienda, que en futuros estudios se implementaran los dos tipos de muestreo, aunque la realización de estos dependerá de los objetivos del estudio que se quiera realizar y los recursos que se tengan disponibles. Además, sería conveniente, realizar paralelamente estudios poblacionales de las especies más afectadas, esto con el fin de poder conocer hasta qué grado el atropellamiento está afectando sus poblaciones.

Al igual que los países de Latinoamérica, México presenta el problema de tener escasos trabajos sobre atropellamiento de vertebrados, a pesar de que la construcción de carreteras sigue aumentando. Por lo que es muy importante para nuestro país el realizar más estudios sobre el atropellamiento de animales en las carreteras.

Sería muy importante la conformación de una red entre científicos y sociedad, para tener un mejor conocimiento sobre el problema del atropellamiento de animales en nuestro país, y llevar a cabo mejores soluciones, como lo realizado en Costa Rica y Brasil.

Se recomienda como mínimo, la colocación de letreros que indiquen el paso de fauna, principalmente en los tramos de la carretera donde se detectaron más atropellamientos, además, realizar pláticas para concientizar a las personas sobre la problemática del atropellamiento de animales, y sobre la importancia que los animales tienen en su vida.

A nivel nacional, donde se tiene detectada la problemática del atropellamiento de animales, es necesario implementar varias de las estrategias y/o técnicas que se tienen identificadas para mitigar este problema, como pasos superiores e inferiores de fauna, vallados perimetrales, cercas vivas, señalizaciones de advertencia, entre otros.

## Literatura citada

Aaris-Sørensen, J., 1995. Road-kills of badgers (*Mele meles*) in Denmark. *Annales Zoologici Fennici* 32, 31-36.

Adeney, J.M., Christensen, N.L. y Pimm, S.L. 2009. Reserves protect against deforestation fires in the Amazon. *PLoS ONE* 4(4), e5014.

Alves da R.C. y Bager, A., 2012. Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. *Journal of Environmental Management* 97, 1-5.

Ament, R., Clemenger, A.P., Yu, O. y Hardy, A., 2008. An assessment of road impacts on wildlife populations in U.S. National Parks. *Environmental Management* 42, 480-496.

American Ornithologists' Union (AOU), 1998. Check-list of North American Birds. 7th edition. American Ornithologists' Union, Washington, D.C.

Antworth, R.L., Pike, D.A. y Stevens, E.E., 2005. Hit y Run: Effects of scavenging on estimates of roadkilled vertebrates. *Southeastern Naturalist* 4(4), 647-56.

Arizmendi, M.C., Berlanga, H., Márquez-Valdemar, L., Navarijo, L. y Ornelas, F. 1990. Avifauna de la región de Chamela, Jalisco. Cuadernos (4). Instituto de Biología, UNAM, México, DF., México. 62 pp.

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

Ashley, P.E. y Robinson J.T., 1996. Road mortality of amphibians, reptiles and other wildlife on the long point causeway, Lake Erie, Ontario. *The Canadian Field-Naturalist* 110, 403-412.

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

Bager, A., 2014. 475 milhões de animais são mortos por ano nas estradas brasileiras.

<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/radio/materias/COM-A-PALAVRA/485446-475-MILHOES-DE-ANIMAIS-SAO-MORTOS-POR-ANO-NAS-ESTRADAS-BRASILEIRAS.html>

Bager, A. y Alves da R.C., 2010. Priority ranking of road sites for mitigating wildlife roadkill. *Biota Neotropica* 10(4), 149-153.

Bager, A. y Alves da R.C., 2011. Influence of sampling effort on the estimated richness of road-killed vertebrate wildlife. *Environmental Management* 47, 851-858.

Bager, A. y Fontoura, V., 2013. Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. *Ecological Engineering* 53, 31-38.

Barri, F.R., 2010. Evaluación preliminar de la mortandad de mastofauna nativa por colisión con vehículos en tres rutas argentinas. *Ecología Aplicada* 9, 161-165.

Baskaran, N. y Boominathan, D., 2010. Road kill of animals by highway traffic forests of Mudumalai Tiger Reserve, southern India. *Journal of Threatened Taxa* 2(3), 753-759.

Beck, D.D. y Lowe, C.H., 1991. Ecology of the beaded lizard, *Heloderma horridum*, in a Tropical Dry Forest in Jalisco, Mexico. *Journal of Herpetology* 25(4), 395-406.

Beckman, J., Clevenger, A., Huijser, M. y Hilty J. (Eds.), 2010. Safe passages highways, wildlife and habitat connectivity. Washington DC: Island Press. 369 p.

Begon, M., Townsend, C.R. y Harper, J.L., 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. Blackwell Publishers. U. K.

Belsley, D.A., Kuh, E. y Welsch, R.E. 1980. Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity. New York: John Wiley.

Blake, S., Strindberg, S., Boudjan, P., Makombo, C., Bila-Isia, I., Ilambu, O., Grossmann, F., Bene-Bene, L., de Semboli, D., Mbenzo, V., S'hwa, D., Bayogo, R., Williamson, L., Fay, M., Hart, J. y Maisels, F., 2007. Forest elephant crisis in the Congo Basin. *PLoS Biol.* 5(4), e111.

Bokorvcová, M., Mrtka, J. y Winkler, J., 2012. Factors affecting mortality of vertebrates on the roads in the Czech Republic. *Transportation Research Part D* 17, 66-72.

Brzeziński, M., Eliava, G. y Żmihorski, M., 2012. Road mortality of pond-breeding amphibians during spring migrations in the Mazurian Lakeland, NE Poland. *European Journal Wildlife Research* 58, 685-693.

Bujoczek, M., Ciach, M. y Yosef, R., 2011. Road-kills affect avian population quality. *Biological Conservation* 144(3), 1036-1039.

Burnham, K.P. y Anderson, D.R., 2002. Model selection and multi-model inference. A practical information-theoretic approach. 2a. ed. Springer, New York.

Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M. Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D.S. y Naeem, S., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* (486), 59-67.

Cardinale, B.J., 2014. Overlooked local biodiversity loss. *Science* 344, 1098-1099.

Caro, T.M., Shargel, J.A. y Stoner, C.J., 2000. Frequency of medium-sized mammal road kills in an agricultural landscape in California. *The American Midland Naturalist* 144, 362-369.

Carr, L.W. y Fahrig, L., 2001. Effects of road traffic on two amphibian species of differing vagility. *Conservation Biology* 15(4), 1071-1078.

Carvalho, F. y 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.

Case, R.M., 1978. Interstate Highway Road-Killed Animals: A Data Source for Biologists. *Wildlife Society Bulletin* 6(1), 8-13.

Castro, N.J., 2011. Procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental Potosina y su impacto en la distribución de la Avifauna. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Ceballos, G. y Miranda, A., 2000. Guía de campo de los mamíferos de Jalisco, México. Fundación Ecológica de Cuixmala, A. C. Instituto de Biología, UNAM. México.

Ceballos, G., Szekely, A., García, A., Rodríguez, P. y Noguera, F., 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México D. F.

CITES, 2014. Appendices I, II and III to the convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. U.S. Department of the Interior. Wildlife Service.

Clevenger, A.P. y Huijser, M.P., 2011. Wildlife crossing structure handbook design and evaluation in North America. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration.

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

Coelho, I.P., Kindel, A. y 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, 689-699.

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

Collinson, W.J., Parker, D.M., Bernard, R.T.F., Reilly, B.K. y Davies-Mostert, H.T., 2014. Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol, for counting flattened fauna. *Ecology and Evolution* 4(15), 3060-3071.

CONASET., 2010. Análisis de la distribución espacial de los accidentes de tránsito y sus víctimas en el Gran Santiago. *Diagnóstico 2002-2010*. Chile.

Cortes, P.C.A., 2005. Metodología para la selección de alternativas de conservación de carreteras, usando el modelo HDM-4. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. UDLAP. México Puebla.

Cserkés, T., Ottlecz, B., Cserkés-Nagy, A. y Farkas, J., 2013. Interchange as the main factor determining wildlife-vehicle collision hotspots on the fenced highways: spatial analysis and applications. *European Journal Wildlife Research* 59, 587-597.

Delgado-V., C.A., 2007. Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobedo, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas* 29(87), 235-239.

Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F.S. y Tilman, D., 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4(8), 1300-1305.

Dinerstein, E., Olson, D., Graham, D., Webster, A., Primm, S., Bookbinder, M y Ledec, M., 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of latin America and the Caribbean. WWF, TWB. Washington, D.C.

Donaldson, A. y Bennett, A., 2004. Ecological Effects of Roads Implications for the internal fragmentation of Australian parks and reserves. Parks Victoria Technical Series Number 12. Parks Victoria. Australia Melbourne.

Drews, C., 1995. Road kills by public traffic in Mikumi National Park, Tanzania, with notes on baboon mortality. *African Journal of Ecology* 33(2) 89-100.

Dulac, J., 2013. Global land transport infrastructure requirements: estimating road and railway infrastructure capacity and costs to 2050 (International Energy Agency).

Eberhardt, E., Mitchell, S. y Fahrig, L., 2013. Road kill hotspots do not effectively indicate mitigation locations when past road kill has depressed population. *The Journal of Wildlife Management* 77(7), 1353-1359.

Eigenbrod, F., Hecnar, S. y Fahrig L., 2008. The relative effects of road traffic and forest cover on anuran populations. *Biological Conservation* 141, 35-46.

Enge, K.M. y Wood. K.N., 2002. A pedestrian road survey of an ugly snake community in Florida. *Southeastern Naturalist* 1, 365-380.

ESRI. ArcGIS Resources. 2015.  
<http://resources.arcgis.com/es/home/>

Erritzoe, J., Mazgajski, T. D. y Rejt, L. 2003. Bird casualties on European roads – a review. *Acta Ornithologica* 28(2), 77-93.

Esparza, O.A. 2014. Análisis espacio-temporal de la actividad reproductiva de *Agalychnis dacnicolor* y *Smilisca baudinii* (Anura: Hylidae) en el bosque tropical caducifolio de Chamela, Jalisco. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima. México.

Espinosa, A., Serrano, J.A. 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 60, 209-236.

Fahrig, L., Pedlar, J.H., Pope, S.E., Taylor, P.D. y Wegner, J.F., 1995. Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* 73, 177-182.

Fearnside, P.M. y Graça, P., 2006. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. *Environmental Management* 38, 705-716.

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

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

Freund, R.J., Littell, R.C. y Creighton, L., 2003. Regression Using JMP. Cary, NC: SAS Institute, Inc.

Frías, O. 1999., Estacionalidad de los atropellos de aves en el centro de España: número y edad de los individuos y riqueza y diversidad de especies. *Ardeola* 46(1), 23-30.

Frost, D.R., 2015. Amphibian Species of the World. Version 5.4. The American Museum of Natural History, New York, USA.  
<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>.

García, A. y Cabrera-Reyes, A. 2008. Estacionalidad y estructura de la vegetación en la comunidad de anfibios y reptiles de Chamela, Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana* 24(2), 91-115.

García, A. y Ceballos, G., 1994. Guía de campo de los Reptiles y Anfibios de la Costa de Jalisco, México. Fundación Ecológica de Cuixmala, A. C. Instituto de Biología, UNAM. México.

García-Oliva, F., Camou, A. y Maass, J.M., 2002. El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. En: Noguera, F.A., Vega, R.J.H., García, A.A.N.

y Quesada, A.M. (Eds.). Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología, UNAM. México.

Garriga, N., Santos, X., Montori, A., Richter-Boix, A., Franch, M. y Llorente, G.A. 2012. Are protected areas truly protected? The impact of road traffic on vertebrate fauna. *Biodiversity and Conservation* 21, 2761-2774.

Gibbs, J.P. y Shriver, W.G., 2002. Estimating the effects of road mortality on turtle populations. *Conservation Biology* 16, 1647-1652.

Gibbs, J.P. y Shriver, W.G., 2005. Can road mortality limit populations of pool-breeding amphibians? *Wetlands Ecology and Management* 13, 281-289.

Gibbs, J.P. y Steen, D.A., 2005. Trends in sex ratios of turtles in the United States: implications of road mortality. *Conservation Biology* 19(2), 552-556.

Gienger, C.M., Beck, D.D., Sabari, N.C. y Stumbaugh, D.L., 2002. Dry season habitat use by lizards in a tropical deciduous forest of western Mexico. *Journal of Herpetology* 36(3), 487-490.

Glista, D.J., De Vault, T.L. y De Woody, J.A., 2007. Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetological Conservation and Biology* 3(1), 77-87.

González, F.A. y Benítez, B. G., 2013. Road ecology studies for Mexico: a review. *Oecologia Australis* 17(1), 175-190.

González-Gallina, A., Benítez-Badillo, G., Rojas-Soto, O.R. y Hidalgo-Mihart, M.G., 2013. The small, the forgotten and the dead: highway impact on vertebrates and its implications for mitigation strategies. *Biodiversity and Conservation* 22, 325-342.

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

Google, 2014. Google Earth.  
<https://earth.google.es/>

Grosselet, M., Villa-Bonilla, B. y Ruiz, M.G., 2009. Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores un 1.2 Km de carretera en el Itsmo de Tehuantepec. *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics* 227-231.

Gryz, J. y Krauze, D., 2008. Mortality of vertebrates on a road crossing the Biebrza Valley (NE Poland). *European Journal of Wildlife Research* 54, 709-714.

Hardin, J.W. e Hilbe, J.M., 2007. *Generalized linear models and extensions*. Stata Press. United States of America.

Hartmann, P.A., Hartmann, M.T. y Martins M., 2011. Snake road mortality in a protected area in the Atlantic forest of southeastern Brazil. *South American Journal of Herpetology* 6, 35-41.

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

Hill, M.O., 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54, 427-432.

Howell, S.N.G. y Webb, S.W., 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press. New York.

Huijser, M.P. y Bergers, P.J.M., 2000. The effect of roads y traffic on hedgehog (*Erinaceus europaeus*) populations. *Biological Conservation* 95, 111-116.

Huijser, M.P., Duffield, J.W., Clevenger, A.P., Ament, R.J., McGowen, P.T., 2009. Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada: a decision support tool. *Ecology and Society* 14(2), 1-15.

Inbar, M. y Mayer, R.T., 1999. Spatio-temporal trends in armadillo diurnal activity and road-kills in central Florida. *Wildlife Society Bulletin* 27(3), 865-872.

INEGI., 2000. Síntesis geográfica del estado de Puebla, México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F. México.

INEGI., 2011. Anuario de estadísticas por entidad federativa 2011. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F. México

INEGI., 2012. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2012. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F. México.

IUCN, 2014. IUCN, Red List of Threatened Species. Version 2014.2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)

Jeeshim y KUCC, 2002. Multicollinearity in Regression Models. Multicollinearity.doc.625. (2003-05-06). <http://php.indiana.edu/~kucc625>

Jost, L., 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113, 363-375.

Jost, L., 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88, 2427-2439.

Jost, L., 2010. The relation between evenness and diversity. *Diversity* 2, 207-232.

Kambourova-Ivanova, N., Koshev, Y., Popgeorgiev, G., Ragyov, D., Pavlova, M., Mollov, I. y Nedialkov, N., 2012. Effect of traffic on mortality of amphibians, reptiles, birds and mammals on two types of roads between Pazardzhik and

Plovdiv region (Bulgaria) - preliminary results. *Acta Zoologica Bulgarica* 64(1), 57-67.

Kattan, G., 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata, M. y Kattan, G. (eds.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Ediciones LUR, Cartago.

Kazmaier, R.T., Hellgren, E.C., Synatzske, D.R. y Rutledge, J.C., 2001. Mark recapture analysis of population parameters in a Texas Tortoise (*Gopherus berlyieri*) population in south Texas. *Journal of Herpetology* 35, 410-417.

Kioko, J., Kiffner, C., Jenkins, N. y Collinson, W.J., 2015. Wildlife roadkill patterns on a major highway in northern Tanzania. *African Zoology* 50(1), 17-22.

Klocker, U., Croft, D.B. y Ramp, D., 2006. Frequency and causes of kangaroo-vehicle collisions on an Australian outback highway. *Wildlife Research* 33, 5-15.

Kutner, M., Nachtsheim, C. y Neter, J., 2004. *Applied linear statistical models*. New York: McGraw-Hill/Irwin.

Langen, T.A., Machniak, A., Crowe, E.K., Mangan, C., Marker, D., Liddle, N. y Roden, B., 2007. Methodologies for surveying herpetofauna mortality on rural highways. *Journal of Wildlife Management* 71, 1361-1368.

Laurance, W.F., Clements, G.R., Sloan, S., O'Connell, C.S., Mueller, N.D., Goosem, M., Venter, O., Edwards, D.P., Phalan, B., Balmford, A., Van Der Ree, R. y Arrea, I.B., 2014. A global strategy for road building. *Nature* 59, 229-232.

Laurance, W.F., Cochrane M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C., D'Angelo, S. y Fernandes, T., 2001. The future of the Brazilian Amazon. *Science* 291, 438-439.

Laurance, W.F., Goosem, M. y Laurance, S.G.W., 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 24, 659-669.

Le, S.S., Hoffmann, M., Shi, Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T.M., Bertzky, B., Butchart, S.H.M., Stuart, S.N., Badman, T. y Rodrigues, A.S.L., 2014. Protected areas and effective biodiversity conservation. *Science* 342, 803-805.

Liner, E.A. 2007. A checklist of the amphibians and reptiles of Mexico. *Louisiana State University Occasional Papers of the Museum of Natural Science*, 80, 1-60.

Lodé, T., 2000. Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *Ambio* 29, 163-166.

López-Redondo, J., 1993. Metodología y resultados del proyecto de seguimiento de mortalidad de vertebrados en carreteras (PMVC/CODA). *Asociación Técnica de Carreteras*. España Madrid.

Lott, E.J., 1993. Annotated checklist of the vascular flora of the Chamela Bay Region. Occasional Papers of the California Academy of Sciences 148:1-60.

Machado F.S., Fontes M.A.L., Mendes P.B., Moura A.S., Romão B.d.S. (2015): Roadkill on vertebrates in Brazil: seasonal variation and road type comparison. North-Western Journal of Zoology 11:1-13.

Marcon, E. y Zhang, Z., 2014. The decomposition of similarity-based diversity and its bias correction. HAL hal-00989454 (version 1).

Marina, P.C., 2010. Ten factors that affect the severity of environmental impacts of visitors in protected areas. Ambio 39, 70-77.

Massemim, S. y Zorn, T., 1998. Highway mortality of barn owls in northeastern France. Journal of Raptor Research 32, 229-232.

Mela, C.F. y Kopalle, P.K., 2002. The impact of collinearity on regression analysis: the asymmetric effect of negative and positive correlations. Applied Economics 34, 667-677.

Miranda, F. y Hernández, E., 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México 28, 29-179.

Moreno, C.E. y Rodríguez, P., 2010. A consistent terminology for quantifying species diversity? Oecologia 163, 279-282

Moreno, R.R.V., 2015. Las estrategias reproductivas en tres especies de anuros y su interrelación en el bosque tropical caducifolio de Chamela Jalisco. Tesis en preparación. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F.

National Park Service. 2006. Management policies 2006. U.S. Department of the Interior, National Park Service.

Naughton-Treves, L., Buck, M.H. y Brandon, K., 2005. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. Annual Review Environment Resources. 30, 219-252.

Newmark, W.D., 1995 Extinction of mammal populations in western North American National Parks. Conservation and Biology 9, 512-526.

Noguera, F.A., Vega, R.J.H., García, A.A.N. y Quesada A.M. (eds.), 2002. Historia natural de Chamela. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Noss, R., 2002. The ecological effects of roads.  
<http://www.eco-action.org/dt/roads.html>

Orlowski, G. y Nowak, L., 2006. Factors influencing mammal roadkills in the agricultural landscape of South-Western Poland. Polish Journal of Ecology 54, 283-294.

Perz, S.G., Cabrera, L., Carvalho, L.A., Castillo, J., Chacacanta, R., Cossio, R.E., Solano, Y.F., Hoelle, J., Perales, L.M., Puerta, I., Céspedes, D.R., Camacho, I.R. y Silva, A.C., 2012. Regional integration and local change: road paving, community connectivity and social-ecological resilience in a tri-national frontier, southwestern Amazonia. *Regional Environmental Change* 12, 35-53.

Pfeifer, C.I., Kindel, A. y Pfeifer, C.A.V., 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research* 54, 689-699.

Pickering, C.M., 2010. Ten factors that affect the severity of environmental impacts of visitors in protected areas. *AMBIO* 39, 70-77.

RACC. 2011. Accidentes de tráfico con animales. Análisis de la situación a nivel Europeo y Español. Ministerio del Interior. Dirección General de Tráfico. España.

Ramírez-Bautista, A. y Pardo-De La Rosa, D., 2002. Reproductive cycle and characteristics of the widely-foraging lizard, *Cnemidophorus communis*, from Jalisco, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 47(2), 205-214.

Ramírez-Pulido, J., González-Ruiz, N., Gardner, A.L. y Arroyo-Cabrales, J. 2014. List of recent land mammals of Mexico. Museum of Texas Tech University. Special Publications 63.

Ramp, D., Caldwell, J., Edwards, K., Warton, D. y Croft, D., 2005. Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 126, 474-490.

Ramp, D., Wilson, V.K. y Croft, D.B., 2006. Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: road-base fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 129, 348-359.

Robinson, C. y Schumacker, R.E., 2009. Interaction effects: centering, variance inflation factor, and interpretation issues. *Multiple Linear Regression Viewpoints* 35(1).

Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.

San José, A.M., 2013. Respuesta de los roedores a la pérdida y fragmentación del hábitat: un enfoque paisajístico en la selva Lacandona, Chiapas. Tesis de maestría. UNAM. México.

Santos, T. y Tellería, J.L., 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de especies. *Ecosistemas* 15(2), 3-12.

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.

SAS, 2010. SAS/STT software version 9. SAS Institute, Cary, North Carolina. USA.

SCT. MIA-R, 2014. Ampliación de la carretera Manzanillo-Puerto Vallarta, tramo El Tuito-Melaque del km 0+000 al 87+100, del km 106+610 al 116+310 y del km 148+330 al 169+396, en el estado de Jalisco.

SCT. MIA-R, 2015. Modernización de la Carretera Federal 200, en su tramo Melaque-José Ma. Morelos, del km 0+000 al 87+100.

Seibert, H.C. y Conover, J.H., 1991. Mortality of vertebrates and invertebrates on an Athens County, Ohio, Highway. Ohio Journal of Science 4(91), 163-166.

Seigel, R.A., Smith, R.B., Demuth, J., Ehrhart, L.M. y Snelson, Jr.F.F., 2002. Amphibians y reptiles of the John F. Kennedy Space Center, Florida: A long-term assessment of a large protected habitat (1975–2000). Florida Scientist 65, 1-12.

Seiler, A., 2001. Ecological effects of roads. Introductory research essay. Department of Conservation Biology, University of Agricultural Sciences, Suiza.

SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMAARNAT-2010 protección ambiental – especies nativas de México de flora y fauna silvestres – categorías de riesgo y especificaciones para su incursión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México. Diario Oficial de la Federación 30 de diciembre de 2010.

SEMARNAT, 2013. Contenido de una MIA.  
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos/contenido-de-una-mia>

Seo, C., Thorne, J.H., Choi, T., Kwon, H. y Park, C.-H., 2013. Disentangling roadkill: the influence of landscape and season on cumulative vertebrate mortality in South Korea. Landscape and Ecological Engineering, DOI 10.1007/s11355-013-0239-2.

Smith, L.L. y Dodd, C.K., 2003. Wildlife mortality on U. S. highway 441 across Peynes Praire, Alachua County, Florida. Florida Scientist 2(66), 128-140.

Smith-Patten, B.D. y Patten, M.A., 2008. Diversity, seasonality and context of mammalian roadkill in the southern Great Plains. Environmental Management 41, 844-852.

Spellerberg, I.F., 2002. Ecological effects of roads. Science Publishers, Inc. Enfield (NH) USA-Plymouth.

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

Taylor, B.D. y Goldingay, R.L., 2004. Wildlife road-kills on three major roads in north-eastern New South Wales. *Wildlife Research* 31, 83-91.

Taylor, B.D. y Goldingay, R.L., 2010. Roads and wildlife: impacts, mitigation and implications for wildlife management in Australia. *Wildlife Research* 33(4), 320-331.

Trombulak, S.C. y Frissell, C.A., 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* 14(1), 18-30.

Tuomisto, H., 2010a. A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. *Ecography* 33, 2-22.

Tuomisto, H., 2010b. A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 2. Quantifying beta diversity and related phenomena. *Ecography* 33, 23-45.

Tuomisto, H., 2011. Commentary: do we have a consistent terminology for species diversity? Yes, if we choose to use it. *Oecologia* 4, 903-911.

Valenzuela, D., 1998. Natural history of the white-nosed coati, *Nasua narica*, in a tropical dry forest of western Mexico. *Revista Mexicana de Mastozoología* 3, 26-44.

Valle, M.J. y Guerra, B.W., 2012. La multicolinealidad en modelos de regresión lineal múltiple. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 21(4), 80-83.

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.

Weng, L., Boedihartono, A.K., Dirks, P.H.G.M., John Dixon, J., Lubis, M.I. y Sayer, J.A., 2013. Mineral industries, growth corridors and agricultural development in Africa. *Global Food Security* 2, 195–202.

## Apéndice

Listado de todas las especies registradas en el estudio, detectando si son endémicas y si se encuentran en alguna categoría de protección a nivel nacional e internacional.

NOM-059:

E - Probablemente extinta en el medio silvestre

P - En peligro de extinción

A - Amenazada

Pr - Sujeta a protección especial

IUCN:

EX - Extinto

EW - Extinto en estado silvestre

CR - En peligro crítico

EN - En peligro

VU - Vulnerable

NT - Casi amenazado

LC - Preocupación menor

DD - Datos insuficientes

NE - No evaluado

CITES:

Apéndice I – Especies en peligro de extinción, prohibido su comercio ilegal, salvo cuando la importancia se realiza con fines no comerciales.

Apéndice II – Especies no necesariamente amenazadas de extinción, el comercio internacional puede autorizarse concediendo un permiso de exportación o un certificado de reexplotación.

Apéndice III – Especies incluidas a solicitud de una parte que ya reglamenta el comercio de dicha especie, comercio con permisos o certificados apropiados.

Nomenclatura: aves (AOU, 1998), anfibios (Frost, 2015), reptiles (Liner, 2007) y mamíferos (Ramírez-Pulido et al., 2014).

	Nombre Científico		NOM-059	IUCN	CITES
<b>Clase: Amphibia</b>					
Orden: Anura					
Familia: Bufonidae					
	<i>Incilius marmoreus</i>	Endémica			
	<i>Incilius mazatlanensis</i>	Endémica			
	<i>Rhinella marina</i>				
Familia: Hylidae					
	<i>Agalychnis dacnicolor</i>				
	<i>Dendropsophus sartori</i>	Endémica	A		
	<i>Diaglena spatulata</i>	Endémica			
	<i>Exerodonta smaragdina</i>	Endémica	Pr		
	<i>Smilisca baudini</i>				
	<i>Smilisca fodiens</i>				
	<i>Tlalocohyla smithii</i>	Endémica			
	<i>Trachycephalus typhonius</i>				

Familia: Leptodactylidae					
	<i>Leptodactylus melanonotus</i>				
Familia: Microhylidae					
	<i>Hypopachus ustus</i>				
	<i>Hypopachus variolosus</i>				
Familia: Ranidae					
	<i>Lithobates forreri</i>		Pr		
<b>Clase: Reptilia</b>					
Orden: Squamata					
Familia: Anguidae					
	<i>Gerrhonotus liocephalus</i>		Pr		
Familia: Eublepharidae					
	<i>Coleonyx elegans</i>		A		
Familia: Gekkonidae					
	<i>Hemidactylus frenatus</i>				
	<i>Phyllidactylus lanei</i>	Endémica			
Familia: Helodermatidae					
	<i>Heloderma horridum</i>		A		II
Familia: Iguanidae					
	<i>Ctenosaura pectinata</i>	Endémica	A		
	<i>Iguana iguana</i>		A		II
Familia: Polychrotidae					
	<i>Anolis nebulosus</i>	Endémica			
Familia: Pryniosomatidae					
	<i>Sceloporus horridus</i>	Endémica			
	<i>Sceloporus melanorhinus</i>				
	<i>Sceloporus utiformis</i>	Endémica			
	<i>Urosaurus bicarinatus</i>	Endémica			
Familia: Scincidae					
	<i>Marisora brachypoda</i>				
	<i>Sphenomorphus assatus</i>				
Familia: Teiidae					
	<i>Ameiva undulata</i>				

	<i>Aspidoscelis communis</i>	Endémica	Pr		
	<i>Aspidoscelis lineatissima</i>	Endémica	Pr		
Orden: Squamata					
Familia: Boidae					
	<i>Boa constrictor</i>		A		II
Familia: Colubridae					
	<i>Coniophanes lateritius</i>	Endémica			
	<i>Conopsis vittatus</i>	Endémica			
	<i>Dipsas gaigeae</i>	Endémica	Pr		
	<i>Drymobius margaritiferus</i>				
	<i>Drymarchon corais</i>				
	<i>Hypsiglena torquata</i>		Pr		
	<i>Imantodes gemmistratus</i>		Pr		
	<i>Lampropeltis triangulum</i>		A		
	<i>Leptodeira maculata</i>	Endémica	Pr		
	<i>Leptodeira uribei</i>	Endémica			
	<i>Leptophis diplotropis</i>	Endémica	A		
	<i>Manolepis putnami</i>	Endémica			
	<i>Masticophis mentovarius</i>				
	<i>Oxybelis aeneus</i>				
	<i>Pseudificimia frontalis</i>				
	<i>Pseudoleptodeira latifasciata</i>	Endémica	Pr		
	<i>Salvadora mexicana</i>	Endémica	Pr		
	<i>Senticolis triaspis</i>				
	<i>Sibon nebulata</i>				
	<i>Sibon philippi</i>				
	<i>Symphimus leucostomus</i>	Endémica	Pr		
	<i>Tantilla bocourti</i>	Endémica			
	<i>Tantilla calamarina</i>	Endémica	Pr		
	<i>Trimorphodon biscutatus</i>				
	<i>Tropidodipsas annulifera</i>	Endémica	Pr		
	<i>Tropidodipsas philippi</i>	Endémica	Pr		
Familia: Elapidae					
	<i>Micrurus distans</i>	Endémica	Pr		
Familia: Loxocemidae					
	<i>Loxocemus bicolor</i>		Pr		II
Familia: Viperidae					
	<i>Agkistrodon bilineatus</i>		Pr	NT	
	<i>Crotalus basiliscus</i>	Endémica	Pr		

Orden: Testudines					
Familia: Geoemydidae					
	<i>Rhinoclemmys rubida</i>	Endémica	Pr	NT	
Familia: Kinosternidae					
	Kinosternon chimalhuaca	Endémica			
<b>Clase: Aves</b>					
Orden: Anseriformes					
Familia: Anatidae					
	<i>Dendrocygna autumnalis</i>				
	<i>Anas discors</i>				
Orden: Galliformes					
Familia: Cracidae					
	<i>Ortalis poliocephala</i>				
Orden: Pelecaniformes					
Familia: Ardeidae					
	<i>Ardea herodias</i>				
	<i>Nyctanassa violácea</i>				
	<i>Cochlearius cochlearius</i>				
Orden: Accipitriformes					
Familia: Cathartidae					
	<i>Coragyps atratus</i>				
Familia: Accipitridae	<i>Accipiter cooperii</i>		Pr		II
	<i>Buteo magnirostris</i>				
	<i>Buteo nitidus</i>				II
Orden: Columbiformes					
Familia: Columbidae					
	<i>Columbina inca</i>				
	<i>Columbina minuta</i>				
	<i>Columbina talpacoti</i>				
	<i>Leptotila verreauxi</i>				
	<i>Streptopelia risoria</i>				
Orden: Cuculiformes					
Familia: Cuculidae					
	<i>Piaya cayana</i>				
	<i>Crotophaga sulcirostris</i>				

Orden: Strigiformes					
Familia: Tytonidae					
	<i>Tyto alba</i>				II
Familia: Strigidae					
	<i>Glaucidium brasilianum</i>				II
	<i>Ciccaba virgata</i>				II
Orden: Caprimulgiformes					
Familia: Capromulgidae					
	<i>Nyctidromus albicollis</i>				
	<i>Caprimulgus ridgwayi</i>				
Orden: Apodiformes					
Familia: Trochilidae					
	<i>Chlorostilbon auriceps</i>				II
	<i>Cynanthus latirostris</i>				II
Orden: Trogoniformes					
Familia: Trogonidae					
	<i>Trogon citreolus</i>	Endémica			
Orden: Piciformes					
Familia: Picidae					
	<i>Melanerpes chrysogenys</i>	Endémica			
Orden: Passeriformes					
Familia: Tyranidae					
	<i>Empidonax occidentalis</i>				
	<i>Myiarchus nuttingi</i>	Endémica			
	<i>Myozetetes similis</i>				
	<i>Tyrannus melancholicus</i>				
Familia: Vireonidae					
	<i>Vireo flavoviridis</i>				
Familia: Corvidae					
	<i>Cyanocorax sanblasianus</i>	Endémica			
Familia: Hirundinidae					
	<i>Hirundo rustica</i>				
Familia: Trogloditidae					
	<i>Thryothorus Sinaloa</i>	Endémica			

	<i>Pheudopegeus (Thryothorus) felix</i>	Endémica			
	<i>Uropsila leucogastra</i>				
Familia: Turdidae					
	<i>Turdus rufupalliatus</i>	Endémica			
Familia: Parulidae					
	<i>Setophaga pitaiayumi</i>				
	<i>Setophaga petechia</i>				
	<i>Icteria virens</i>				
Familia: Thraupidae					
	<i>Saltator coerulescens</i>				
Familia: Emberizidae					
	<i>Volantinia jacerina</i>				
	<i>Sporophila torqueola</i>				
	<i>Arremonops rufivirgatus</i>				
	<i>Aimophila ruficauda</i>				
Familia: Cardinalidae					
	<i>Pheucticus melanocephalus</i>				
	<i>Cyanocompsa parellina</i>				
	<i>Passerina leclancherii</i>	Endémica			
	<i>Passerina ciris</i>			NT	
Familia: Icteridae					
	<i>Sturnella magna</i>				
	<i>Quiscalus mexicanus</i>				
	<i>Icterus spurius</i>				
	<i>Icterus cucullatus</i>				
	<i>Icterus pustulatus</i>				
	<i>Cacicus melanicterus</i>	Endémica			
Familia: Passeridae					
	<i>Passer domesticus</i>				
<b>Clase Mammalia</b>					
Orden: Artiodactyla					
Familia: Tayassuidae					
	<i>Pecari tajacu</i>				
Orden: Carnivora					
Familia: Canidae					

	<i>Canis lupus familiaris</i>				
	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>				
Familia: Felidae					
	<i>Leopardus pardalis</i>		P		I
	<i>Felis silvestris catus</i>				
	<i>Puma yagouaroundi</i>		A		I
Familia: Mephitidae					
	<i>Conepatus leuconotus</i>				
	<i>Mephitis macroura</i>				
	<i>Spilogale pygmaea</i>	Endémica	A	VU	
Familia: Procyonidae					
	<i>Nasua narica</i>				
	<i>Procyon lotor</i>				
Orden: Chiroptera					
Familia: Emballonuridae					
	<i>Saccopteryx bilineata</i>				
Familia: Mormoopidae					
	<i>Pteronotus parnelli</i>				
	<i>Pteronotus personatus</i>				
Familia: Pyllostomidae					
	<i>Artibeus jamaicensis</i>				
	<i>Artibeus phaeotis</i>				
	<i>Artibeus toltecus</i>				
	<i>Glossophaga commissarisi</i>				
	<i>Glossophaga soricina</i>				
Familia: Vespertilionidae					
	<i>Rhogeessa parvula</i>				
Orden: Cingulata					
Familia: Dasypodidae					
	<i>Dasypus novemcinctus</i>				
Familia: Didelphidae					
	<i>Didelphis virginiana</i>				
	<i>Tlacuatzin canescens</i>	Endémica			
Orden: Lagomorpha					
Familia: Leporidae					

	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	Endémica			
Orden: Rodentia					
Familia: Muridae					
	<i>Mus musculus</i>				
	<i>Rattus norvegicus</i>				
	<i>Rattus rattus</i>				
Familia: Cricetidae					
	<i>Baiomys musculus</i>				
	<i>Nyctomys sumichrasti</i>				
	<i>Oligoryzomys fulvescens</i>				
	<i>Oryzomys couesi</i>				
	<i>Oryzomys melanotis</i>	Endémica			
	<i>Osgoodomys banderanus</i>	Endémica			
	<i>Peromyscus perfulvus</i>	Endémica			
	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>				
	<i>Sigmodon alleni</i>			VU	
	<i>Sigmodon mascotensis</i>	Endémica			
	<i>Xenomys nelsoni</i>	Endémica	A	EN	
Familia: Heteromyidae					
	<i>Liomys pictus</i>				
Familia: Sciuridae					
	<i>Sciurus colliaei</i>	Endémica			