



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

FUNCIONALIDAD DE ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS COMO
PASOS DE FAUNA EN LA CARRETERA INTERAMERICANA
NORTE QUE CRUZA EL AREA DE CONSERVACIÓN
GUANACASTE, COSTA RICA

por

María Lorena Torres Tamayo

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de
Bosques Tropicales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2011

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

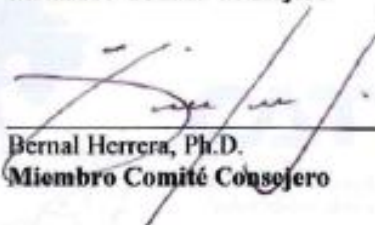
FIRMANTES:



Joel Sáenz, M.Sc.
Consejero Principal



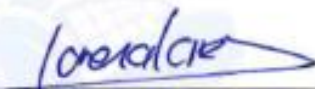
Fabrice De Clerck, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Bernal Herrera, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



I. Miley González, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



María Lorena Torres Tamayo
Candidata

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero, Joel Sáenz, muchas gracias por permitirme ser parte de su proyecto, por toda la ayuda, consejos, enseñanzas y revisiones al documento.

A Fabrice DeClerck, y Bernal Herrera, por hacer de este estudio más valioso a través de sus comentarios y aportes.

A Tom Langen, por sus sugerencias y disposición para guiar el estudio.

A mis profesores del CATIE, Bryan Finegan, Sergio Vilches, y Fernando Casanovez, parte también de este trabajo.

A los profesores de la Universidad Nacional, Manuel Spínola, José Pablo Carvajal, y Laura Porras, por su ayuda y recomendaciones tanto en la fase de campo como en el análisis de datos.

Al personal del ACG, en especial a Roger Blanco y Julio Díaz, muchas gracias por su ayuda, amabilidad y amistad.

A Jerôme Henreaux, por ser mi compañero, amigo, familia y lo mejor que pudo haber pasado en estos dos años en Costa Rica.

A mis compañeros de promoción, por ser parte de esta meta.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VII
SUMARY	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	XIV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio	4
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.2 Hipótesis del estudio.....	5
2 MARCO CONCEPTUAL	6
2.1 Historia del Área de Conservación Guanacaste.....	6
2.2 Impactos de las carreteras sobre la vida silvestre	7
2.3 Muertes accidentales de la fauna y medidas de mitigación	8
2.4 Vertebrados terrestres y estructuras no específicas de cruce en carreteras (drenajes como pasos de fauna).....	11
2.5 Métodos de estudio del uso de pasos de fauna por vertebrados	12
2.6 Modelos de ocupación de las especies.....	14
2.7 Modelos de conectividad del hábitat	16
2.8 LITERATURA CITADA	19
3 ARTÍCULO 1. USO DE ALCANTARILLAS COMO PASOS DE VERTEBRADOS TERRESTRES EN LA CARRETERA INTERAMERICANA QUE SEGMENTA EL ÁREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE, COSTA RICA	24
3.1 INTRODUCCIÓN	24
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.2.1 <i>Área de estudio</i>	26
3.2.2 <i>Métodos</i>	28
3.3 RESULTADOS	31
3.4 DISCUSIÓN	40

3.5	CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL MANEJO	48
3.6	LITERATURA CITADA	49
4	ARTÍCULO 2. FACTORES QUE AFECTAN EL USO DE PASOS DE FAUNA POR VERTEBRADOS TERRESTRES EN LA CARRETERA QUE CRUZA EL ÁREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE, COSTA RICA	54
4.1	INTRODUCCIÓN	55
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	57
4.2.1	Área de estudio	57
4.2.2	Métodos.....	59
4.3	RESULTADOS	63
4.4	DISCUSIÓN	70
4.5	CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL MANEJO	76
5	LITERATURA CITADA	79
6	ARTÍCULO 3. MODELOS DE CONECTIVIDAD FUNCIONAL PARA EL OCELOTE (<i>Leopardus pardalis</i>) Y GUATUSA (<i>Dasyprocta punctata</i>), EN ÁREAS DE LA CARRETERA INTERAMERICANA QUE CRUZA EL ACG, COSTA RICA	83
6.1	INTRODUCCIÓN.....	84
6.2	MATERIALES Y MÉTODOS	86
6.2.1	Área de estudio	86
6.2.2	Métodos.....	88
6.3	RESULTADOS	93
6.4	DISCUSIÓN	95
6.5	CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL MANEJO	100
6.6	LITERATURA CITADA	102
6.7	ANEXOS	107

RESUMEN

Este estudio describe el uso de 15 alcantarillas ubicadas debajo de la Carretera Interamericana (ACG) como pasos no específicos de vertebrados terrestres (pasos de fauna), a través de la ocurrencia de individuos, composición de especies y de rasgos asociados a los pasos de fauna (estructura), paisaje circundante y variables de perturbación humana. Se registraron 277 eventos (número de cruces) obtenidos mediante el uso de cámaras-trampa entre la estación seca y lluviosa (febrero a julio de 2011). La mayor parte de las ocurrencias fueron de mamíferos medianos. No se encontró diferencias significativas entre las ocurrencias entre estaciones ($p=0.54$). A través de modelos lineales generalizados (GLM) se explicó la riqueza de especies cruzando por los pasos de fauna. El modelo conformado por las variables largo del paso, ruido, y distancia al paso más cercano ($AICc=79.4$, $w=0.42$), explicó la riqueza total de especies. Para la riqueza de mamíferos el modelo se conformó por las variables largo del paso, bosque seco circundante y distancia al paso de fauna más cercano ($AICc=68.4$, $w=0.33$). El ruido y la cobertura explicaron la riqueza de reptiles ($AICc=40.3$, $w=0.47$). El efecto de la fase lunar con las ocurrencias nocturnas ($p=0.03$) fue explicado de acuerdo a la actividad predador-presa, y las variables ruido y temperatura tuvieron relación con los patrones de actividad de las especies. Las especies con mayor frecuencia de cruce fueron la guatusa (*Dasyprocta punctata*, $n=114$), garrobo (*Ctenosaura similis*, $n=22$), pizote (*Nasua narica*, $n=17$), tepezcuintle (*Agouti paca*, $n=12$) y ocelote (*Leopardus pardalis*, $n=11$). Se obtuvieron modelos de ocupación de las especies más abundantes a través del programa Presence 3.1 (Hines, J. 2006), con ellos se describieron patrones de ocupación, extinción y colonización de los pasos en relación a variables fluctuantes en el tiempo. Los modelos mostraron que la cobertura vegetal y la precipitación fueron las variables con influencia para todas las especies con excepción del tepezcuintle, en donde la temperatura y la cobertura definieron el modelo de ocupación. El modelo de ocupación de la guatusa no se definió por ninguna covariable. Se realizó un modelo de conectividad funcional para la guatusa y ocelote, con lo cual se ubicó los tramos de la carretera en donde se debe tomar atención dentro del manejo del área protegida. Los modelos fueron elaborados de acuerdo a la teoría de circuitos propuesta por Mcrae y Shah (2008).

Palabras clave: alcantarillas, pasos de fauna, guatusa, ocelote, bosque seco, modelos de ocurrencia, modelos de conectividad funcional, modelos lineales generalizados, teoría de circuitos.

SUMMARY

The study explains the use of 15 culverts located under the Interamerican Highway (ACG) as no specific underpasses for terrestrial vertebrates (wildlife crossings), through the occurrence of individuals, species composition and features associated with wildlife crossings (infrastructure), landscape variables and human disturbance variables. There were 277 events (number of crosses) obtained using camera traps between the dry and rainy season (February to July 2011). Most of the occurrences were medium-sized mammals. No significant differences were found in the occurrences between seasons ($p = 0.54$). Generalized linear models (GLM) explained species richness across the wildlife passages. The variables length, noise level and distance to the nearest wildlife crossing (AICc = 79.4, $w = 0.42$) explained the total species richness. For the mammals' richness, the model was composed for the variables length, dry forest and distance to the nearest wildlife crossing (AICc = 68.4, $w = 0.33$). The noise and coverage explained the richness of reptiles (AICc = 40.3, $w = 0.47$). The effect of lunar phase on the nocturnal occurrence ($p=0.01$) was explained according to predator-prey activity and noise and temperature variables were related to the activity patterns of the species. The most common species were the agouti (*Dasyprocta punctata*, $n = 114$), iguana (*Ctenosaura similis*, $n = 22$), coati (*Nasua narica*, $n = 17$), paca (*Agouti paca*, $n = 12$) and ocelot (*Leopardus pardalis*, $n = 11$). Using the program Presence 3.1 (Hines, J. 2006), occupation models were obtained of the most abundant species. The models described the occupancy patterns, extinction and colonization of the passages in relation to fluctuating variables over time. The models showed that the cover and rainfall were influential variables for all species except for the tepezcuintle, where the temperature and cover were more important. The pattern of occupation of the agouti was not defined by any covariate. A model of functional connectivity for the agouti and ocelot was obtained according to circuit theory proposed by Mcrae and Shah (2008). The models showed areas in which care must be taken within the protected area management.

Keywords: wildlife passages, agouti, ocelot, dry forest, occurrence models, models of functional connectivity, generalized linear models, circuit theory.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los pasos de fauna (alcantarillas) evaluados en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.	28
Cuadro 2. Comparación de los registros de vertebrados cruzando los pasos de fauna durante la época seca y lluviosa (febrero a julio de 2011) en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.	32
Cuadro 3. Probabilidad de detección de especies y tasas de ocupación por grupo de vertebrados según el tipo de paso de fauna de la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	33
Cuadro 4. Variables estructurales y microclima, paisaje y perturbación asociados a los pasos de fauna de vertebrados, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	62
Cuadro 5. Modelos que explican la relación entre la riqueza de especies y las variables medidas en la estructura de los pasos de fauna, del paisaje y del grado de perturbación en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	64
Cuadro 6. Resumen de los modelos seleccionados para las especies con mayor número de registros de cruce en los pasos de fauna en la Carretera Interamericana entre los meses febrero a julio de 2011. Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (entre paréntesis el error estándar).....	68

Cuadro 7. Probabilidad estimada de la tasa de colonización de los pasos de fauna por el tepezcuintle entre febrero y julio de 2011 en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (valores entre paréntesis representan al error estándar).....	70
Cuadro 8. Valores de conductancia para el ocelote (<i>Leopardus pardalis</i>) en los usos de suelo asociados a la carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica	89
Cuadro 9. Valores de conductancia para la guatusa (<i>Dasyprocta punctata</i>) en los usos de suelo asociados a la carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica	91

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Procesos de ocupación, colonización y extinción local cambian el estado de ocupación de un sitio entre estaciones. Tomado de MacKenzie et ál. (2006)..... 16
- Figura 2. Área de estudio (pasos de fauna), Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica .. 27
- Figura 3. Distancias a puntos de alta mortalidad y frecuencia de cruce de mamíferos (medianos) en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica 34
- Figura 4. Relación de correspondencia entre el número de veces que usaron los mamíferos los pasos de fauna y las fases del la luna (círculos negros mas grandes), en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica..... 35
- Figura 5. Relación de la composición de especies (círculos) que cruzan los pasos de fauna con los variables ruido y temperatura, en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. 36
- Figura 6. Relación entre el conteo del tráfico y nivel de ruido (por hora) en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica..... 37
- Figura 7. Relación entre el nivel del ruido y conteo de especies y guatusas que cruzan (por hora) por los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que atravieza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (datos estandarizados)..... 38

Figura 8. Temperatura ambiente entre estaciones seca y lluviosa y número de especies usando los pasos de fauna (por hora) en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.	39
Figura 9. Temperatura ambiente entre estaciones seca y lluviosa y número de guatusas usando los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.	39
Figura 10. Área de estudio mostrando los 15 pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.	58
Figura 11. Efecto de las variables que explican la riqueza de total de especies que usan los pasos de fauna en la Carretera Interamericana en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica	65
Figura 12. Variables que predicen la riqueza de especies del grupo mamíferos que usan los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.	66
Figura 13. Variables que predicen la riqueza de especies de reptiles que usan los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	67
Figura 14. Usos del suelo del área segmentada por la Carretera Interamericana. ACG, Costa Rica.....	87
Figura 15. Reglas de agrupación de píxeles usadas para la guatusa y ocelote	92
Figura 16. Mapa de conductividad funcional (movilidad) del ocelote, en un segmento de la Carretera Interamericana que cruza el Área de conservación Guanacaste, Costa Rica	94

Figura 17. Mapa de conductividad funcional (movilidad) de la guatusa, en un segmento de la Carretera Interamericana que cruza el Área de conservación Guanacaste, Costa Rica 95

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACG: Área de Conservación Guanacaste

ICOMVIS: Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre

CAFTA: Central America Free Trade Agreement

TLC: Tratado de Libre Comercio

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transporte

TPD: Tránsito Promedio Diario

UNA: Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica

SIG: Sistemas de Información Geográfica

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

PNG: Parque Nacional Guanacaste

PNSR: Parque Nacional Santa Rosa

1 INTRODUCCIÓN

Los caminos de cualquier tipo, además de generar facilidades para el transporte, comercio y desarrollo, afectan al ecosistema terrestre y acuático de las siguientes maneras: incrementan la mortalidad de organismos al momento de su construcción, y la mortalidad de especies comúnmente atropelladas sobre la carretera, modifican el comportamiento animal, alteran la química del medio ambiente, sirven de corredor para la dispersión de especies exóticas, e incrementan la alteración o uso de hábitat natural por humanos (Trombulak y Frissel 2000). Los impactos que influyen en forma directa sobre la permeabilidad de la carretera y el aislamiento de poblaciones y que, según Forman et ál. (2003) se consideran como los principales efectos ocasionados por las carreteras son: la mortalidad en el camino, principalmente por atropellamiento; la pérdida de hábitat, fragmentación del paisaje; reducción de la conectividad física de los bosques y reducción de intercambio entre las poblaciones.

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

Fahrig y Rytwinski (2009) señalan que la mayoría de investigaciones en ecología del camino que involucran a especies de fauna silvestre se han realizado bajo dos hipótesis. La primera, se basa en el comportamiento de las especies frente al tráfico y caminos y; la segunda, en los atributos relacionados con el tamaño corporal, los cuales suponen que los animales de mayor tamaño son más vulnerables a los impactos de las carreteras, dado que son más móviles, tienen bajas tasas reproductivas y ocurren naturalmente en bajas densidades. Estos factores aumentan la probabilidad de interacción con las carreteras y a la vez las muertes en ellas (Gibbs y Shiver 2002). Por otro lado, Jaeger et ál. (2005) sugieren que, en relación a las respuestas basadas en el comportamiento se pueden presentar tres casos bien diferenciados: a) que el animal evite el camino, b) que evite además las emisiones causadas por el tráfico y los disturbios como el ruido, luz artificial, o emisiones químicas (lo que es conducido por el efecto barrera que provoca la carretera) y, c) la habilidad del animal para moverse sobre ella (evitar a los vehículos pero no a la carretera), lo que según Forman et ál. (2003) incrementa la frecuencia de acceso del animal hacia la carretera y a la vez el riesgo de mortalidad.

Las medidas de mitigación a los impactos de las carreteras conocidos como *pasos de fauna* se han convertido en herramientas cada vez más aplicadas en Europa, Canadá y Estados Unidos (Forman

et ál. 2003). De acuerdo a Beckman et ál. (2010) los pasos de fauna son estructuras permanentes embebidas dentro de la dinámica de los paisajes, permiten los movimientos de especies de fauna silvestre a través de ellos y reducen los impactos asociados a la mortalidad y aislamiento de poblaciones mediante tres enfoques: a) de manera exclusiva para la vida silvestre (estructuras prediseñadas en forma específica para una especie o grupo de especies), b) para el uso humano y de la vida silvestre (viaductos, puentes) y, c) como parte de infraestructuras sobre arroyos, canales, drenajes y semejantes (estructuras no específicas o construidas sin un diseño planificado para el cruce de fauna, como pueden ser las alcantarillas).

En países de América del Norte y Europa, las colisiones fauna-vehículo son uno de los efectos de las carreteras más evidentes para el ser humano por el perjuicio económico directo que representa para un conductor atropellar especies de la talla de venados y alces. Una de las medidas más usadas para mitigar este efecto ha sido la construcción prediseñada de pasos específicos para el cruce de aquellas especies de gran tamaño y altas tasas de atropello. Pese a que los pasos específicos para especies silvestres tienen el objetivo de reducir atropellos y daños a vehículos y conductores de manera general, no facilitan que otras especies los atraviesen con éxito.

Clevenger y Waltho (2005) resaltan que, no existe un paso similar a otro en su estructura y aspectos ecológicos. Las especies seleccionan el paso que mejor se correlaciona con sus necesidades ecológicas y de comportamiento. Por lo tanto, se hace necesario determinar la efectividad de los pasos de fauna silvestre a una escala amplia y dentro de un contexto ecológico particular que permita efectivizar el uso de un paso, no solo por especies particulares (Bissonette y Cramer 2008). Pese a ello, pocos estudios han evaluado la eficiencia de estas estructuras de mitigación en un contexto multi-especie o de comunidad (Clevenger y Waltho 1999). Por lo tanto, la mayor parte de las investigaciones relacionadas a la dinámica fauna-carretera se han realizado en países norteamericanos y europeos, dejando a los países tropicales con escaso conocimiento de la influencia de las carreteras sobre la vida silvestre, así como de la eficacia de los pasos de fauna para mitigar dichos impactos.

En Costa Rica, en el tramo de la Carretera Interamericana que atraviesa el Área de Conservación Guanacaste (ACG), Sáenz y Langen (com. pers.¹) identificaron varios pasos no específicos de fauna en medio de una dinámica de movimientos entre el bosque seco tropical, las zonas húmedas de la Cordillera de Guanacaste y los Bosques del Caribe. Además observaron cierta reducción en la frecuencia de atropellos de mamíferos grandes y medianos como el venado de cola blanca, (*Odocoileus virginianus*) y pecaríes (*Tajassu tajacu*), especies abundantes en el área y con escasos registros de

¹ Sáenz, J. y Langen, T. 2010. Estudio de mortalidad de vertebrados en la carretera Interamericana, ACG. (correo electrónico). Heredia, CR, Universidad Nacional, ICOMVIS.

muerte o cruce exitoso sobre la carretera. Paralelamente a estos hallazgos, Sáenz y Langen notaron huellas y evidencias indirectas de venados, pecaríes, pequeños y grandes carnívoros a las entradas de las estructuras subterráneas, lo que supone que, estas estructuras están sirviendo como pasajes para el movimiento animal, además, mantienen la conectividad entre poblaciones de ciertas especies y, posiblemente reducen la mortalidad animal debida a la carretera.

Por otro lado, a partir de la ratificación del Tratado de Libre Comercio para Centro América con EEUU (CAFTA por sus siglas en inglés o TLC para el país), Costa Rica está consolidando un modelo económico orientado hacia la inserción internacional y mercados competitivos internos y externos (Comisión de Notables 2005). Con ello, la recuperación de la infraestructura vial se incluye en la agenda de implementación del TLC como uno de los ejes de la apertura de mercados. Solo en el año 2008, la inversión en infraestructura creció casi un 70% en relación al año 2007, y de este porcentaje, el 71% fue destinado a mejorar la red vial (Feoli 2009). Dentro de este marco, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) ha destacado permanentemente el estado prioritario de varias obras y, la más importante es la ampliación a cuatro carriles de la Carretera Interamericana Norte, una carretera estratégica para el país y la región Mesoamericana (Corredor Pacífico) que permitirá hacer más expedito el traslado de mercancías desde México hasta Panamá, lo que evidentemente favorecerá a los agricultores y exportadores nacionales y además al sector turístico (Villalobos 2010).

La rehabilitación y ampliación de la Interamericana Norte es un proyecto que va de Barranca a Peñas Blancas y su diseño permitirá superar la velocidad máxima actual a 70 km por hora (La Nación 2010). La ampliación de esta carretera en su primer tramo comprenderá el avance de las obras entre Cañas y Liberia y, será la primera obra que se construya dentro de este proyecto (López 2010). En agosto del 2011, el MOPT dio inicio a los procesos de licitación y adjudicación de la obra, y se espera que en los próximos meses se empiece con las labores sobre la carretera (Prensa Libre 2011).

La Carretera Interamericana atraviesa el Área de Conservación Guanacaste (ACG), la administración del área de conservación es consciente de los efectos actuales que tiene sobre la biodiversidad la Carretera Interamericana en los sectores del Parque Nacional Santa Rosa (PNSR) y Parque Nacional Guanacaste (PNG); además, una ampliación a cuatro carriles (en actualidad es de dos) de la misma aumentaría dichos efectos. Desde el año 2008 el Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS, Universidad Nacional) viene realizando estudios sobre la relación fauna-carretera en esta parte del ACG. Hasta el momento se han identificado registros de mortandad de vertebrados asociada con atropellos vehiculares. Entre los resultados preliminares se reporta como afectadas 13 especies de mamíferos, 19 reptiles, 8 especies de aves y, el grupo con mayor frecuencia de muertes son los anfibios, aunque no son los más diversos.

Entre el 2008-2009, las mayores tasas de mortalidad de individuos y especies corresponden a la familia buffonidae (85.45%) para el grupo de los anfibios, para los reptiles la serpiente ojos de gato (*Leptodeira annulata*) con un 43,30%, seguida de la toboba chinga (*Porthidium ophryomegas*) con 14,17%, la toboba gata (*Trimorphodon biscutatuscon*) con el 10.24%, y la culebra bejuquillo (*Imantodes gemmistratus*) con un 8.66%. En el grupo de las aves, entre las más afectadas se registra al toledo (*Chiroxiphia linearis*) con un 7.14%, con igual porcentaje la lechuza sabanera (*Megascops cooperi*), y la codorniz crestada (*Colinus cristatus*) con un 4.76% (Sáenz, datos sin publicar).

Las especies de mamíferos afectados descritos en el estudio fueron el conejo de sabana (*Sylvilagus floridanus*) con 13.04% de los registros para el grupo, con igual porcentaje quirópteros no identificados, armadillos (*Dasybus novemcinctus*) con un 8.7%, entre otros. En cuanto a los carnívoros de la zona, durante el estudio se registraron dos ocelotes atropellados, varios coyotes cerca de la carretera pero solo uno atropellado; y en los últimos cinco años personal del ACG ha reportado el atropello de al menos dos jaguares (*Panthera onca*), cuatro pumas (*Puma concolor*), tres ocelotes (*Leopardus pardalis*) y dos leones breñeros (*Puma yaguarondi*) (Sáenz 2010 com. pers²).

Teniendo claro el contexto económico y social en torno a la ampliación de la Carretera Interamericana, así como la importancia biológica que la permeabilidad de la carretera pueda ofrecer en aporte a la integridad ecológica del ACG, el presente estudio evaluó la potencialidad de las estructuras no específicas (alcantarillas) ubicadas a lo largo de la Carretera Interamericana Norte, denominadas en este estudio como *pasos de la fauna de vertebrados*. Esta es la primera investigación que valora el proceso de permeabilidad asociado a una carretera en el Neotrópico, y que contribuye a la descripción de los efectos que este proceso tiene sobre las especies como su mortalidad, movimiento, conectividad y sobre todo guiará las estrategias de manejo y mitigación de impactos de la Carretera Interamericana en el ACG.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la funcionalidad de las estructuras no específicas de la Carretera Interamericana sobre el Área de Conservación Guanacaste (ACG) como pasos de vertebrados terrestres en el contexto local y paisajístico.

² Sáenz, J. 2010. Resultados preliminares de atropellamientos en el ACG. (informe técnico). Heredia, CR, Universidad Nacional, ICOMVIS.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Identificar y cuantificar las especies de vertebrados terrestres que utilizan los pasos de fauna ubicados en la Carretera Interamericana (kilómetro 265 a 277) que atraviesa el ACG en los sectores del Parque Nacional Guanacaste (PNG) y Parque Nacional Santa Rosa (PNSR).

2. Determinar las características estructurales de los pasos de fauna ubicados en la Carretera Interamericana que cruza el ACG en los sectores del PNG y PNSR y, los atributos de hábitat aledaño a los pasos de fauna.

3. Relacionar las métricas estimadas (objetivo 2) con la riqueza y el número de individuos de vertebrados que utilizan los pasos de fauna ubicados en Carretera Interamericana Norte que cruza el ACG en los sectores del PNG y PNSR.

4. Modelar rutas de alta probabilidad de movimiento para el ocelote (*Leopardus pardalis*) y guatusa (*Dasyprocta punctata*) e identificar áreas de conexión sobre la Carretera Interamericana entre el PNG y PNSR (interfase entre los dos parques).

5. Ofrecer recomendaciones técnico-científicas a la administración del ACG ligadas al control y mitigación de los impactos de la Carretera Interamericana sobre la fauna silvestre vertebrada, basadas en el uso de los pasos de fauna, requerimientos de hábitat, de paisaje y de movilidad de las especies (este último basado en los modelos de movimiento).

1.2 Hipótesis del estudio

1. Los pasos o cruces de fauna ubicados en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste (ACG) son estructuras que permiten la permeabilidad (local y de paisaje) para ciertas especies de la fauna de vertebrados del ACG.

2. Las especies que usen los pasos no específicos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste serán las especies de vertebrados terrestres que poseen mayor movilidad, mayores requerimientos de hábitat (mamíferos medianos y grandes) y, un tamaño y comportamiento asociado a las variables estructurales de los pasos de fauna, de hábitat, paisaje y climáticas.

3. Los pasos de mayor uso por los vertebrados terrestres estarán ubicados en áreas en donde los rasgos dominantes de conectividad estructural del paisaje se asocien al movimiento de las especies (bosques, remanentes de bosque, bosques ribereños, cursos de agua, entre otros).

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Historia del Área de Conservación Guanacaste

Luego de su visita en 1966 al entonces rectángulo de remanentes de bosque seco entre el Pacífico y la Carretera Interamericana, Kenton Miller recomendó crear en el lugar el Parque Nacional Santa Rosa. En ese entonces, los mismos ganaderos, usuarios tradicionales de las tierras del norte de Guanacaste, fueron quienes mostraron a Miller la extensa área de sabana, conformada por campos de pasto introducido de diferentes edades, entremezcladas con remanentes de bosque seco en diferentes períodos de sucesión (Janzen 2000). En un inicio el área fue declarada Monumento Nacional, ya que fue sede de importantes batallas (1856, 1919 y 1955) en defensa de la soberanía del país, además de tener corrales ganaderos de piedra construidos aproximadamente en el año 1700 (SINAC, 2011).

En 1971, la denominación Parque Nacional Santa Rosa reemplaza al hasta entonces llamado Monumento Nacional. De acuerdo a descripciones de Janzen (2000), el ganado no fue retirado hasta el año 1978 y los incendios provocados como parte de la gestión de los pastos continuó hasta mediados de la década de 1980. A medida de que los procesos de agro-manejo clásico del área fueron gradualmente eliminados en Santa Rosa, el bosque seco comenzó su auto restauración. A mediados de los 80's cuando la economía de Costa Rica sufrió un severo revés por la caída mundial del precio del café, para entonces uno de los rubros más importantes de exportaciones del país, además del drástico aumento de los combustibles fósiles de los cuales carece Costa Rica, y el comienzo de la decadencia ganadera en la Provincia de Guanacaste; el entonces Servicio de Parques Nacionales encontró la oportunidad para adquirir tierras devaluadas, operarlas y administrarlas para su conservación (Janzen 2000).

Desde entonces, las tierras privadas (fincas y potreros) que tenían suficientes remanentes de bosque para permitir la restauración del bosque seco fueron compradas. Estas tierras se extienden sobre 10.400 ha alrededor del Parque Nacional Santa Rosa, entre la Carretera Interamericana y los volcanes Orosí y Cacao. Más de 200 propiedades fueron negociadas y adquiridas con fondos provenientes de nueve países, más de 50 fundaciones internacionales y alrededor de 7.000 donantes particulares, lo que representó un monto mayor a los 50 millones de dólares (Blanco 2006).

Daniel Janzen tuvo claro que la restauración del bosque seco a gran escala no puede alcanzarse por la plantación de árboles (reforestación), sino con detener los incendios anuales antropogénicos o reducir su impacto hasta que pudieran ser eliminados. Esto es lo que se ha venido realizando en la zona, se ha revertido 40.000 hectáreas de pastos viejos a jóvenes bosques regenerados (Janzen 2000).

Hoy, el Área de Conservación Guanacaste (ACG) se forma por un solo bloque biogeográfico ininterrumpido de área silvestre protegida de 120,000 hectáreas terrestres, que se extiende desde el área marina en los alrededores del archipiélago Islas Murciélagos en el océano Pacífico, la meseta de Santa Rosa hasta la cima de los volcanes Orosí, Cacao, Rincón de la Vieja y las tierras bajas del lado Caribe (Blanco 2006). El ACG contiene la mayor y única muestra de bosque seco que se encuentra desde México hasta Panamá, además, guarda ecosistemas marino/costeros, bosque nuboso y bosque lluvioso, en donde las poblaciones de fauna se han recuperado y a su vez, se han re-estableciendo los procesos e interacciones ecológicas a nivel del ecosistema y entre ecosistemas vecinos (Blanco 2006).

2.2 Impactos de las carreteras sobre la vida silvestre

Las redes viales (carreteras, caminos, ferrocarriles, etc.) están asociadas a impactos directos sobre la biodiversidad como la deforestación, la fragmentación de hábitats, muerte de animales en la carretera, además de impactos indirectos derivados de ellos y de la intensidad de uso de la carretera como la contaminación química y sónica. Los impactos que influyen sobre la biodiversidad en forma indirecta de acuerdo a Rajvanshi et ál. (2001) proceden de las perturbaciones resultado de la colonización humana, en donde, los caminos facilitan la entrada de personas dentro de áreas naturales para beneficiarse de la explotación de sus recursos y con el tiempo, establecer continuas y delgadas bandas urbanas a lo largo del camino. A la vez, el ruido producido por el tránsito de vehículos y la contaminación ambiental ocasionan de forma indirecta que algunos animales eviten áreas cerca de los caminos, dejando hábitats adyacentes inhabitados para algunas especies e incluso afectando la estructura del ecosistema más allá del borde de la carretera, erosionando el suelo y alterando las condiciones hidrológicas (Forman et ál. 2003).

Los impactos de las carreteras considerados de efecto directo sobre la biodiversidad son:

1) Daños y mortalidad a la fauna (número de animales heridos o atropellados) provocando impactos significantes sobre la dinámica poblacional de las especies (Rajvanshi et ál. 2001). En particular de aquellas especies que son atraídas por la carretera, de alta movilidad, de hábitos generalistas, de demanda de múltiples recursos, baja densidad, de requerimientos de área de gran tamaño y baja tasa reproductiva (Forman et ál. 2003).

2) Modificación y fragmentación de hábitat, donde una nueva carretera puede reducir áreas enteras a un gran número de parches, los cuales no aportan a la funcionalidad original del ecosistema, separan poblaciones y limitan el intercambio genético entre especies que quedan aisladas con la eventual declinación y posibles extinciones locales (Rajvanshi et ál. 2001). Forman et ál. (2003)

señalan que la pérdida del hábitat afecta más a las especies de baja densidad y/o requerimientos de grandes áreas, de bajas tasas reproductivas y especies del interior del bosque.

3) Efecto barrera, el cual restringe el movimiento (permeabilidad) y conectividad de las poblaciones. Entendiéndose como permeabilidad a la habilidad de las especies para moverse “libres” a lo largo del paisaje en medio de la red de caminos, diferente del término conectividad que resalta la percepción humana de cómo está conectada la matriz y fragmentos, sin considerar la escala de los organismos (Bissonette 2007). En cuanto al movimiento de los animales terrestres, tres son los componentes de la carretera que actúan como barrera al movimiento: 1) carreteras de superficie desnuda, 2) hábitats al borde de la carretera alterados y 3) amplio espectro de emisiones y disturbios como el ruido, polvo, altos niveles de iluminación, y contaminantes químicos sobre el suelo y la vegetación adyacente a la carretera (Lodge 2000).

Al crear barreras, los caminos afectan la funcionalidad de los ecosistemas, principalmente los procesos hidrológicos, que a la vez afectan a otros procesos como la conectividad entre hábitats, productividad primaria, descomposición, ciclo de los nutrientes y disturbios en el régimen de lluvias, así como cambios en la frecuencia e intensidad de inundaciones (Jones et ál. 2000). Estos efectos influyen en mayor o menor intensidad según las características y requerimientos de hábitat de las especies, los tipos de carretera, la calidad del hábitat adyacente y la frecuencia y velocidad del tráfico (National Research Council 2005).

La presencia de caminos puede alterar el comportamiento de los animales y esto puede ocurrir a través de cinco mecanismos: cambios en el ámbito de hogar de las especies, alteración de los patrones de movimiento y eventos reproductivos, alteración de las respuestas de escape, y modificación del estado fisiológico de los individuos (Trombulak y Frissel 2000). Todos estos factores a la vez aíslan poblaciones, reducen la diversidad genética y la habilidad de las poblaciones para mantenerse en equilibrio (Lodge 2000). Además producen pérdidas en los ecosistemas principalmente para las especies de múltiples requerimientos alimenticios, baja densidad, amplios requerimientos de espacio y hábitat, baja tasa reproductiva, especies de interior del bosque y aquellas que evitan a los caminos (Rajvanshi et ál. 200, Forman et ál. 2003).

2.3 Muertes accidentales de la fauna y medidas de mitigación

De acuerdo a Clevenger y Huijser (2011), la mortalidad relacionada a la carretera y la reducción de la movilidad de la vida silvestre, tienen grandes efectos en la conservación y viabilidad de poblaciones a lo largo del tiempo, además es importante considerar con ello que el grado con el que

estos factores amenazan a las poblaciones depende del volumen del tráfico. Seiler (2003) presenta un modelo conceptual sobre los efectos del tráfico, el mismo incluye a los animales que pueden cruzar la carretera, los que evitan la carretera o su borde por el nivel del tráfico, ruido y movimiento vehicular y, aquellos que se atreven a cruzar la carretera y son víctimas de atropellos. Este modelo concluye que con un Tránsito Promedio Diario (TPD) bajo (< 2500 vehículos por día) la proporción de las tasas de mortalidad es relativamente baja, así como el número de animales que se resisten acercarse a la carretera. A medida que el volumen vehicular se incrementa (TPD = 2500 a 10000 vehículos / día), se espera que la mortalidad sea alta y la proporción de cruces exitosos comienza a decrecer dramáticamente. Bajo tráficos mayores (TPD = > 10000 vehículos / día) solo una pequeña proporción de cruces son exitosos, una gran proporción de animales que se acerca a la carretera es repelida por el disturbio y el tráfico pesado, por lo que la mortalidad debida al tráfico ocurre rara vez.

Es importante definir entonces, el momento en el cual el grado de mortalidad en la carretera puede manejarse para mantener las poblaciones conectadas y viables; como también tener en cuenta que para hablar de medios que reduzcan los impactos de mortalidad y aislamiento de poblaciones ocasionados por las carreteras, es necesario conocer y describir factores como tasas de mortalidad, especies afectadas, hábitat de estudio, costos y efectividad de los mismos. A continuación se resume las principales estrategias para mitigar los impactos de las colisiones fauna-vehículo y como aumentar la permeabilidad estructural de las carreteras.

Beckman et ál. (2010) describen 41 medidas de mitigación agrupadas en dos categorías: las que influyen sobre el conductor y, las que influyen sobre el comportamiento animal. En el primer grupo se enlistan factores como la educación e información pública, señalización y aumento de la visibilidad de las carreteras para el conductor, a través de diferentes formas, como la reducción de la velocidad o del tráfico, y otros medios de detección animal. Entre las medidas orientadas a influir sobre el comportamiento de las especies, los puentes y pasos para la fauna como los pasos aéreos (sobre la carretera) y pasos subterráneos se consideran los más efectivos, ambos pueden ser cercados o no. Otros medios son el uso de reflectores, repelentes de olor, el sacrificio animal en casos de alta densidad poblacional y la alteración del hábitat (puentes aéreos que conectan la vegetación para monos y ardillas por ejemplo, o eliminación de la vegetación del borde de la carretera y mejorar la visibilidad del conductor para prever el acercamiento de animales al borde de la carretera).

Los pasos para la fauna silvestre son técnicas empleadas por décadas (Forman et ál. 2003), ya en 1995 los autores identifican a los pasos de fauna silvestre como medios de mitigación de los impactos de las carreteras (Bekker et ál. 1998). Se sabe, que las agencias de transporte los consideran medidas efectivas para reducir las colisiones animal-vehículo y para conectar los hábitats que son

interrumpidos por las carreteras (Yáñez et ál. 1995, Forman et ál. 2003). Entre las estructuras más comunes catalogadas como pasos de fauna se describen a los pasos elevados, puentes para la vida silvestre, puentes expandidos y drenajes sobredimensionados (Jackson y Griffin 2000).

- Los pasos elevados son estructuras prediseñadas, construidas principalmente en carreteras de Europa, Estados Unidos, y Canadá, parecen acomodarse a un mayor número de especies a diferencia de los pasos subterráneos. Son relativamente silenciosos y mantienen condiciones ambientales estables como precipitación, temperatura y luz, además pueden servir como hábitat intermedio para pequeños animales como reptiles, anfibios y mamíferos (Bekker 1998, Jackson y Griffin 2000). Estas estructuras son menos efectivas para especies semi-acuáticas, son costosas, su uso parece estar determinado por la localización y relación con caminos naturales, tamaño, diseño, apariencia visual y cobertura vegetal alrededor de sus bordes (Bekker 1998). El uso de los pasos elevados por la fauna por sí mismo no es garantía de la supervivencia de la población entera; por lo que la efectividad de los pasos elevados como herramientas de conectividad y prevención del aislamiento genético de las sub-poblaciones de vertebrados, debe ligarse con la presencia de cercas que actúen como barreras para el acceso directo hacia al camino y faciliten la dirección de los animales hacia las estructuras de cruce (Bekker 1998, Corlatti et ál. 2009).

- Los puentes expandidos, se ubican en donde las carreteras cruzan ríos y corrientes de agua, son puentes de mayor tamaño que el necesario y proveen de corredores adyacentes al curso de agua que facilitan el desplazamiento de muchas de las especies ribereñas (Jackson y Griffin 2000).

- Los pasos de fauna subterráneos para la fauna silvestre proveen abundante luz y movimiento del aire, pero podrían ser demasiado secos para algunas especies de anfibios y reptiles. Pueden presentar varios diseños y pese a ser menos costosos que los pasos elevados aún demandan inversiones considerables para su construcción (Jackson y Griffin 2000). Dentro de esta categoría se encuentran a los pasos subterráneos para mamíferos, pasos subterráneos para múltiples especies, pasos subterráneos para pequeños y medianos mamíferos, pasos para anfibios y reptiles, y las alcantarillas modificadas. Estas últimas tienen en su interior pasarelas para el paso de fauna ubicadas sobre el nivel del agua y sirven para especies acuáticas, anfibios, reptiles, pequeños y medianos mamíferos, y carnívoros (Clevenger y Huijser 2011).

- Los drenajes sobredimensionados, son drenajes en medio de cursos de agua y pequeños ríos de mayor tamaño que el requerido para el paso del agua, de esta manera la estructura del drenaje alcanza un tamaño suficiente para permitir el paso de la fauna silvestre. Generalmente los drenajes en forma rectangular proveen más espacio para la movilización de la fauna que drenajes largos en forma de tuberías (Jackson y Griffin 2000).

Los pasos aéreos y pasos subterráneos ayudan a cumplir el objetivo de conexión, otras medidas como cercados, detección vehicular de animales, baja velocidad, reflectores, manejo del hábitat, incremento en el ancho medio del son útiles para la seguridad del conductor y para reducir las colisiones vehículo-fauna (Beckman et ál. 2010). Sin embargo, pese a ser rasgos permanentes en caminos o infraestructuras lineales (eg. líneas de tren), prácticamente nada se conoce sobre su efectividad para incrementar la permeabilidad del camino y la conectividad de hábitat, por lo que su uso y frecuencia de uso, debe ser estudiado de acuerdo a la forma de la estructuras, localización y entorno próximo (Clevenger et ál. 2001, Morales et ál. 2000).

Los pasos para la vida silvestre conectan hábitats, poblaciones e incrementan la seguridad de conductores y reducen la mortalidad de la fauna silvestre que atraviesa la carretera, siempre y cuando los pasos enlacen paisajes funcionales u hábitats complejos que permitan a la fauna silvestre dispersarse, moverse libremente y cumplir con sus requisitos vitales. Los pasos de fauna no sólo requieren de consideraciones a escala del paisaje, sino también, la incorporación de cambios futuros o proyectados en el uso de la tierra, así como cambios dentro de los procesos de planeación de las carreteras (Beckman et ál. 2010).

2.4 Vertebrados terrestres y estructuras no específicas de cruce en carreteras (drenajes como pasos de fauna)

Las estructuras no específicas de cruce de fauna como alcantarillas y drenajes son consideradas por autores como Rodríguez et ál. (1996) de utilidad para reducir el potencial aislamiento de carnívoros. Little et ál. (2001) los relacionan con las preferencias de hábitat de especies individuales, con el tipo y estructura del paso y en particular con la escala de interacciones predador-presa. Varios estudios han encontrado restos de animales cerca de pasos de fauna como evidencia de depredación animal. Sin embargo, Ford y Clevenger (2010) luego de registrar más de 32000 visitas a lo largo de 13 años antes y después de la construcción de la carretera Trans-Canadá en el Parque Nacional Banff, solo registraron 5 eventos de depredación cerca de las estructuras de cruce, por lo tanto, no hay mayor

evidencia de que el comportamiento de los depredadores sea afectado y favorecido por el movimiento de presas a través de las estructuras de cruce.

Otros estudios indican que el uso de pasos de fauna por vertebrados puede estar influenciado por las dimensiones del paso o el lugar, como también por la presencia de cobertura cercana y el tipo de actividades humanas (Foster y Humphrey 1995), Forman et ál. (2003) resaltan que las especies de vertebrados responden en forma diferente a las características estructurales del paso y sugieren maximizar la conectividad a lo largo de los caminos para múltiples especies de mamíferos grandes e incluir una diversidad (diferentes formas y tamaños) de pasos de fauna en ellos.

Rodríguez et ál. (1996, 1997), encontraron en carreteras de España, que el uso de estructuras no específicas por carnívoros y pequeños mamíferos no tuvo influencia del uso de los pasos por humanos o la proximidad de los pasos a casas o poblados, además la presencia de cobertura en las entradas de los pasos favorecen su uso por carnívoros, mientras pequeños mamíferos prefirieron pasos angostos (120 x 120 cm). Los reptiles prefieren pasos de tamaño intermedio (2 x 2 m) en donde puedan moverse a superficies aptas para realizar procesos de termorregulación. Little et ál. (2001) señalan que lobos y gatos salvajes prefieren usar pasos en hábitats con cobertura y con bajo grado de perturbación humana, mientras que Rodríguez et ál. (1997) recomiendan para gatos salvajes y zorros ubicar alcantarillas y pasos de fauna cerca del bosque (o áreas abiertas con baja actividad humana) como primera medida y en lo posible, contar con cobertura que conecte los pasajes y los parches de vegetación a ambos lados de la carretera.

Con respecto al uso de las estructuras de cruce de vertebrados Mata et ál. (2003) llegan a dos conclusiones que se pueden respaldar en todos los estudios sobre este tema: 1) todos los tipos de estructuras, diseñadas o no para el uso de fauna silvestre son usadas por vertebrados y 2) la mayoría de las especies muestran alguna selectividad por el tipo de paso, abriendo la posibilidad para que varias estructuras jueguen un rol complementario en la conectividad de comunidades de vertebrados.

2.5 Métodos de estudio del uso de pasos de fauna por vertebrados

De una revisión de 40 estudios de monitoreo de estructuras de cruce realizada por Clevenger y Huijser (2009) sobre los métodos aplicados en el estudio de pasos de fauna, el 62% usaron trampas de arena, huelleros de placas de hollín, o algún otro tipo de material para la identificación de huellas de la fauna y con ello la frecuencia del uso de los pasos. Además, el 50% de los estudios usaron aparatos disparadores remotos (cámaras), video cámaras o cámaras permanentes, además de huelleros de arena en la mayoría de casos (Ford et ál. 2009). Pese a que las trampas de arena (huelleros) son métodos

ampliamente usados, Ford et ál. (2009) indican que al dar seguimiento al uso de pasos de fauna (prediseñados, pasos subterráneos, puentes sobre arroyos, alcantarillas, pasos elevados, etc.) a través de trampas de arena, la calidad de los registros puede clasificarse como buenos, correctos, huellas pobres o irreconocibles (sobre-montadas y difuminadas). Estas últimas afectan la confianza en el conteo de los eventos de cruce y; al comparar la eficiencia de este tipo de muestreos con el uso de cámaras-trampa, las trampas de arena en términos de costo-beneficio a largo plazo son menos eficientes.

El monitoreo por cámaras-trampa facilita una mejor identificación de las especies, los costos a largo plazo son más asequibles, aportan menos sensibilidad a condiciones climáticas o al diseño de la estructura de cruce, así como también mayor sensibilidad al nivel de actividad animal. Además, los registros con trampas cámara proveen datos adicionales de la hora del evento de cruce, tamaño del grupo, algunas veces inferencias sobre el sexo, edad de los individuos (Olsson et ál. 2008) y con algunas especies identificación a nivel de individuo. Estos factores favorecen el uso de cámaras como el método idóneo para reducir los errores en la descripción de la variable de respuesta (número de especies y frecuencias de uso) en los estudios de efectividad de los pasos de fauna y monitoreos a lo largo del tiempo.

Una buena referencia de las variables (locales y de paisaje) asociadas al uso de pasos de fauna son las registradas en el estudio de Rodríguez et ál. (1996, 1997), en dicho estudio, se midió la efectividad de las estructuras subterráneas de paso para vertebrados luego de determinar cuáles fueron los grupos de vertebrados terrestres que usaban las estructuras subterráneas a lo largo de la carretera y, examinar si este uso fue ordinario o un fenómeno ocasional (según la significancia de cruce en relación a la preferencia de hábitat y época de abundancia de las especies o períodos de mayor actividad).

El efecto de los rasgos de los pasos de fauna sobre las tasas de cruce de animales, fue determinado por Rodríguez et ál. (1996, 1997), asignando a cada paso un tipo de hábitat asociado a diferentes usos del suelo y grado de perturbación humana, además colectaron datos de: 1) tipo de paso (material, diseño o forma, tamaño, diámetro, alto, ancho, 2) presencia o ausencia de cobertura arbórea o arbustiva dentro de los 20 m de al menos de una de las dos entradas, 3) distancia al parche o bosque más cercano, 4) distancia a la granja o casa habitada más cercana, 5) la tasa mensual de uso por actividades humanas (personas, animales domésticos, y vehículos) calculado de la misma forma como los cruces de la fauna vertebrada en el estudio.

Rodríguez et ál. (1996) encontraron que los carnívoros, lagomorfos, pequeños mamíferos y reptiles usan los pasos en respuesta a la abundancia de poblaciones de cada grupo en la zona, las dimensiones de los pasos, la escasa cobertura vegetal al borde de los pasos y la perturbación humana,

que se correlaciona en forma negativa con el cruce de ungulados; por el contrario, pequeños mamíferos prefieren pasos pequeños (1.2 x 1.2 m) y los reptiles aquellos de tamaño intermedio (2 x 2 m), sin embargo el factor principal correlacionado positivamente con el cruce de fauna fue la localización del paso en relación al hábitat y presencia de vegetación.

Yáñez et ál. (1995), además midió la intensidad del tráfico, ancho total de la carretera, incluyendo vallas, muros de contención, altura de las cercas y la presencia o ausencia de fosas de detritus. Bajo esta metodología, determinaron si el uso de los pasos dependía de la abundancia de las especies en el área, pero no encontraron diferencias significativas entre estos registros de la abundancia y los cruces bajo la carretera. El estudio excluyó a los anfibios por sus escasos registros, encontró un promedio de 3.8 registros de cruce por paso al día con variaciones significantes entre estaciones, los individuos con mayor frecuencia de cruces fueron los ratones, conejos, gatos, lobos entre otros.

2.6 Modelos de ocupación de las especies

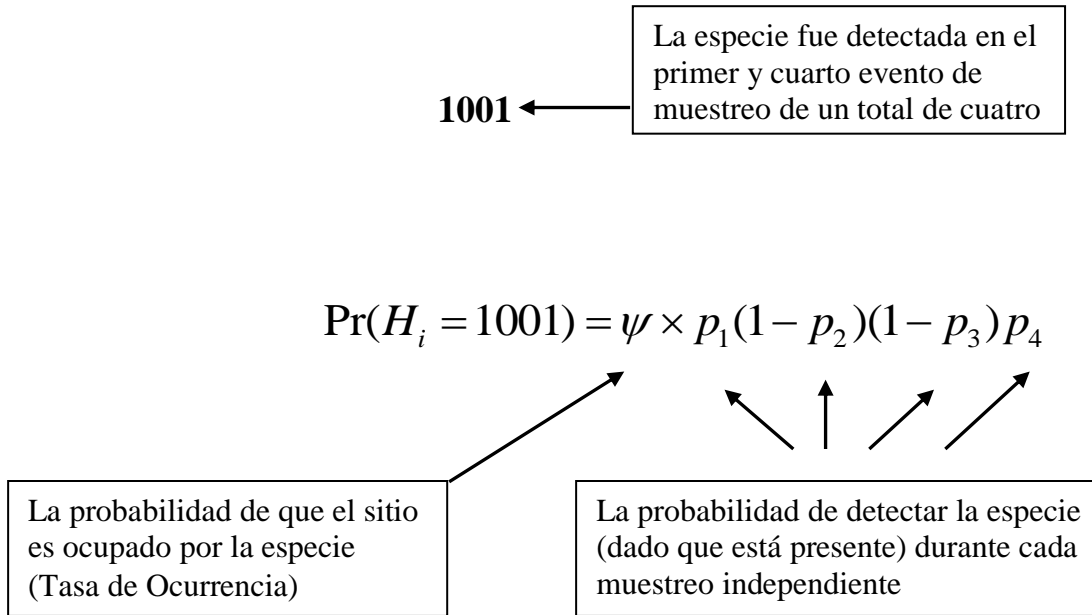
MacKenzie et ál. (2006), al considerar que la estructura de meta poblaciones envuelve un sistema de parches o sitios que son algunas veces ocupados por especies de interés y otras veces no dependiendo de la dinámica de los procesos de “extinción y colonización”; y que las inferencias basadas en conteos puede clasificar a un sitio ocupado en uno no ocupado, desarrollaron modelos de ocupación de las especies que restringen estos casos. En los modelos de ocupación, la *ocupación* es definida por la proporción de un área parche o unidad de muestreo que es ocupada por una especie (presencia de al menos un individuo), de ello que, el interés por la ocupación de especies refiere a la *probabilidad* de que un sitio dentro de un grupo de sitios sea ocupado (MacKenzie et ál. 2006).

Los modelos de ocupación no solo estiman la ocupación de determinada especie en un área, estos modelos se vinculan con parámetros explícitos de detectabilidad de las especies de interés, y consideran que en localidades de muestreo es común para los animales y hasta especies enteras no ser detectadas. Por ejemplo, para el caso de especies raras es casi imposible estimar su abundancia, y es ahí, en donde la estimación de la ocupación tiene un uso potencial en la dinámica de las poblaciones silvestres.

Siendo la detectabilidad de los individuos dependiente de variables relacionadas con el hábitat de estudio, o el método de registro, la correcta estimación de la ocupación debe considerar las variaciones espaciales a lo largo del tiempo (es decir como los factores no controlados en un estudio con una estacionalidad a lo largo del tiempo influyen en las inferencias sobre el estado de ocupación de una especie). Algunas veces, es posible identificar factores no controlados que influyen en la

probabilidad de detección e incorporarlos como covariables dentro del análisis estadístico, lo que es muy razonable cuando se tratan de factores que solamente podrían afectar la probabilidad de detección y no la abundancia animal por si misma (MacKenzie et ál. 2006).

La estructura de los modelos de ocupación basan su análisis en el historial de capturas – recapturas (presencia - ausencia) de una especie determinada, y obedece a la siguiente estructura básica:



Los modelos que evalúan la ocupación de las especies en términos de extinciones y colonizaciones demandan múltiples períodos o estaciones de muestreo a lo largo del tiempo, en los cuales existe una alta probabilidad de extinción cuando los sitios son ocupados o una alta probabilidad de colonización cuando los sitios aún no han registrado la presencia de la especie o han dejado de hacerlo. Estas probabilidades pueden ajustarse de acuerdo al comportamiento de la especie, la probabilidad de detección u otras variables del ambiente. En la Figura 1, MacKenzie et ál. (2006) explican el proceso con el cual un área puede ser ocupada o no en diferentes períodos temporales y, la variación sobre el uso del espacio (parcelas, transectos, pasos de fauna) que las especies pueden presentar a través de los registros de campo colectados en múltiples estaciones de muestreo.

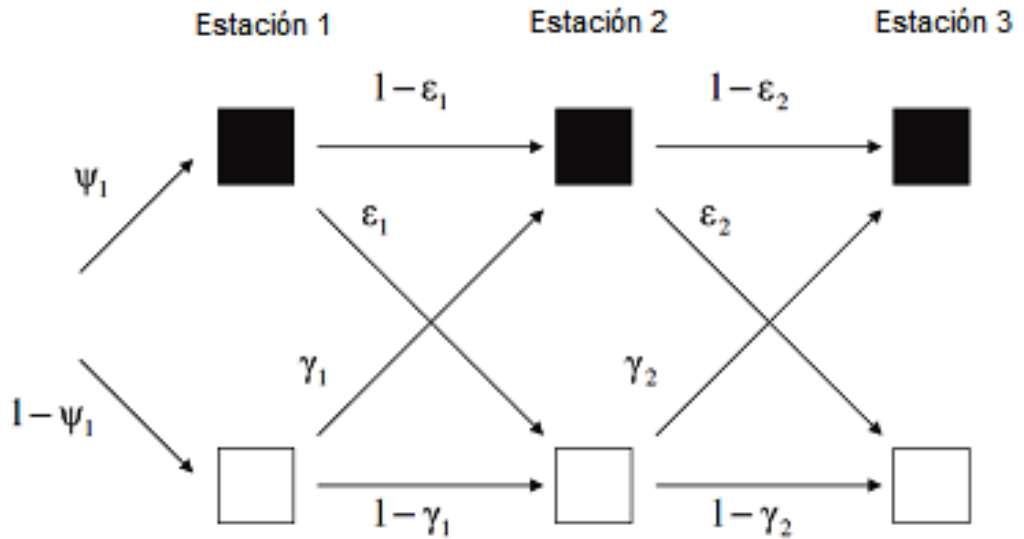


Figura 1. Procesos de ocupación (ψ), colonización (γ) y extinción local (ϵ) cambian el estado de ocupación de un sitio entre estaciones. Cajas oscuras indican que el sitio es ocupado (especies presentes) en la estación, mientras que las cajas claras, indican que el sitio no está ocupado (especie ausente). Tomado de MacKenzie et ál. (2006).

2.7 Modelos de conectividad del hábitat

La conectividad del paisaje representa el grado en el cual el paisaje facilita el movimiento animal y otros flujos ecológicos (Forman 1995), para lograr una conectividad efectiva en áreas con presencia de carreteras se deben incluir a las estructuras para el cruce de animales, corredores, cinturones verdes, redes ecológicas entre otros elementos (Hilty et ál. 2006). Un cruce de fauna silvestre aporta conectividad al permitir los movimientos del animal entre ambos lados de la carretera, para ello, es necesario determinar la mejor ubicación de los cruces bajo un análisis de su estructura, forma, y considerar las especies de interés y el hábitat asociado a ellas.

Hasta ahora la idea general de la eficiencia de un cruce no ha trascendido de los conteos de uso por la fauna; con los cuales, se supone que con el registro de uso, el cruce trabaja y funciona bien. Sin embargo, la respuesta de que un paso de fauna aporta conectividad del paisaje no ha sido analizada a profundidad en la mayoría de los estudios de ecología del camino, es en este contexto que la teoría de corredores y los modelos de conexión del paisaje pueden ser útiles para la evaluación de la funcionalidad y eficiencia de los cruces de fauna.

Uno de los primeros estudios que usó estas herramientas de modelación, fue el realizado sobre la Carretera Trans-Canadá, divisoria del Parque Nacional Banff, en Alberta, Canadá. Clevenger et ál. (2002) trataron de ubicar pasos de fauna en ausencia de información de línea base y sin datos previos a la construcción de la carretera. Para identificar las conexiones de hábitat desarrollaron dos modelos basados en la opinión de expertos y compararon las predicciones de estos modelos con un modelo de hábitat empírico. Posterior a ello, con el uso de datos empíricos y datos previos a la construcción de la carretera, determinaron los lugares en donde desarrollar modelos de conectividad de hábitats de las especies usando rutas obtenidas con el método de pares y análisis de paisaje con herramientas de SIG (Sistemas de Información Geográfica). Con ello, crearon modelos del movimiento animal a dos escalas, la primera a escala regional, en la cual se identificaron áreas de conexión y se evaluó si la ubicación de los pasos de fauna existentes en la carretera fueron los adecuados para su disposición. Finalmente, el estudio modeló los movimientos a un nivel local, a una resolución y escala fina para predecir la ubicación de los cruces de vida silvestre.

Clevenger et ál. (2002) modelaron el movimiento del oso negro, con datos empíricos para construir un modelo, además de numerosos registros de cruce y mortalidad. El modelo apropiado de hábitat fue basado en una función de selección de recursos y la probabilidad de ocurrencia de la especie registrada a través del método de radiolocalización. Los modelos basados en el criterio de expertos tomaron variables como la elevación, pendiente, exposición, verdor del paisaje, y distancia al drenaje (paso de fauna) más cercano. En el modelo a escala regional, analizaron la permeabilidad del paisaje principalmente para grandes carnívoros a través de distancias ponderadas y el costo menor de desplazamiento de las especies en el área. De esta manera simularon los movimientos con base a la calidad del hábitat y permeabilidad de los elementos del paisaje, obteniendo modelos de hábitat adecuados para el oso negro, el oso pardo, alce y el ciervo canadiense, y definieron áreas potenciales para la ubicación de cruces de fauna.

Las especies que Clevenger et ál. (2002) seleccionaron, presentaron grandes rangos y patrones de dispersión en interacción con la carretera, datos empíricos suficientes de localización para construir el modelo, y datos empíricos de cruce y mortalidad disponibles para probar los modelos. Los modelos de movimiento se basaron en el principio del costo mínimo de movimiento y cuantificaron los efectos del ángulo de pendiente y orientación (en relación a la dirección de movimiento de las especies) sobre sus rutas, así como la probabilidad de ocurrencia sobre un tipo de hábitat específico. Todos los modelos se correlacionaron bien con los datos empíricos colectados con radiotelemetría y los puntos aleatorios de incidencia de las especies.

La selección de las especies para los modelos de movimiento y conectividad debe responder al objeto del estudio y enfoque de manejo y, debe realizarse en base a la disponibilidad de datos y a la representatividad de la o las especies en el área de estudio y; sobre la mayor parte de la comunidad biológica. Beier et ál. (2009), al considerar los hábitos generalistas de los carnívoros ponen en duda la eficiencia de ellos como especies paraguas, además de esta relación no ha sido bien estudiada y, en su revisión de estudios de modelamiento, encontraron 15 modelos de conexión basados en más de 10 especies focales que incluían especies no-carnívoras. En estos modelos se asignó (en base a revisiones bibliográficas) un peso de conexión y valores de resistencia de las especies con respecto a los usos del suelo y, mediante un análisis de incertidumbre (evalúa como las salidas del modelo cambian en respuesta a la incertidumbre en la entrada de parámetros) probaron que los modelos que se basan en los movimientos de carnívoros no son adecuados para otras especies focales.

Beier et ál. (2009), para minimizar el efecto originado por la selección de especies y los modelos de conexión que resulten de estas, trabajaron con una variedad de especies focales para cada conexión, incluyendo especies cercanamente relacionadas con las funciones del ecosistema o sensitivas a la pérdida de conexión, tales como especies indicadoras, especies clave, especies de áreas sensitivas, y especies sombrilla. Estas especies fueron elegidas a través de talleres con expertos entre todos los vertebrados terrestres (principalmente mamíferos y aves) y su importancia para el manejo de la relación fauna - carretera.

Para entender a gran escala los procesos ecológicos que involucran la conectividad, está la derivación de índices de patrones del paisaje, simulaciones del movimiento de individuos, y medidas analíticas de redes de conectividad (la teoría de gráficas y modelos de rutas de costo mínimo) y aquellos modelos basados en la teoría de circuitos. Estos últimos requieren trasladar el conjunto de datos espaciales a una estructura gráfica, en donde la resistencia en términos ecológicos se representa por el tipo de hábitat en el cual el animal no tiene movimiento (fricción), y la conductancia, que es análoga al hábitat permeable (McRae et ál. 2008). De esta manera el modelo predice los patrones de movimiento y la probabilidad de dispersión exitosa o la mortalidad aleatoria de individuos moviéndose en un paisaje complejo, además, generan medidas de conectividad o aislamiento de parches de hábitat, poblaciones o áreas protegidas e identifican los elementos importantes para la conectividad como corredores.

La teoría de circuitos requiere un mapa de hábitat (tipo raster) en el cual, cada celda está codificada de acuerdo a la probabilidad de movimiento que una especie tiene sobre cada hábitat o uso del suelo del paisaje (Shah y McRae 2008). Los valores asignados a cada hábitat pueden referirse a la resistencia (fricción) o conductancia (permeabilidad) que el hábitat representa para el movimiento de la

especie. La analogía con la teoría de circuitos eléctricos se basa en que cierto parche, fuente o región focal (de donde parte la corriente, el flujo genético, o individuos) se conecta a una corriente y, el o los parches restantes con los cuales se mide la conductancia o resistencia están conectados a tierra (McRae y Shah 2008). De esta manera, la corriente puede fluir en una densidad de áreas entre los parches focales con diferentes medidas de conectividad o corriente.

La conexión de una celda con otra puede realizarse en base a las reglas de agrupación de vecindades, de esta manera, un modelo de conectividad bajo la regla de ocho vecinos, conectará una celda con una de sus ocho celdas vecinas si estas comparten una misma categoría de uso de suelo. También se puede utilizar la regla de cuatro vecinos, que agrupa una celda con sus vecinos si es que comparten un lado de la celda (no en diagonal). La elección de la regla de agrupación, dependerá de la vagilidad de la especie para la cual se está modelando la conectividad, de esta manera si se agrupa las celdas con la regla de cuatro vecinos en lugar de la de ocho, la especie de interés tendrá una vagilidad limitada y solo podrá desplazarse cuando el hábitat en el cual mantiene su rango de hogar es continuo.

2.8 LITERATURA CITADA

- Beckman, J; Clevenger, A; Huijser, M; Hilty J. (eds.). 2010. Safe passages highways, wildlife, and habitat connectivity. Island Press. Washington DC. 396p.
- Beier, P; Majka, D; Newell, S. 2009. Uncertainty analysis of least-cost modeling for designing wildlife linkages. *Ecological Applications* 19(8):2067-2077.
- Bekker, H. 1998. Habitat fragmentation and infrastructure in the Netherlands and Europe. Pages 151–165 in G. L. Evinck, P. A. Garrett, D. Zeigler, and J. Berry, editors. Proceedings of the international conference on wildlife ecology and transportation. Florida Department of Transportation, Tallahassee, Florida.
- Bissonette, J. 2007. Restoring habitat networks with allometrically-scaled wildlife crossings (3.5). Final report evaluation of the use and effectiveness of wildlife crossings NCHRP 25-27. 275p.
- Blanco, R. 2006. Importancia del Área de Conservación Guanacaste. Comunicación Área de Conservación Guanacaste - Programa de Investigación ACG. 4p.
- Bissonette, J; Cramer, P. 2008. Evaluation of use and effectiveness of wildlife crossings. Transportation Research Board. Washington D.C. 174p.

- Clevenger, A; y Waltho, N. 1999. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology* 14(1):47-56.
- Clevenger, A; Chruszcz, B; Gunson, K. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology* 38:1340-1349.
- Clevenger, A; Wierzchowski, J; Chruszcz, B; Gunson, K. 2002. GIS-generated expert based models for identifying wildlife habitat linkages and mitigation passage planning. *Conservation Biology* 16:503-514.
- Clevenger, A; Waltho, N. 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation* 121:453-464.
- Clevenger, A; Huisner, M. 2009. Handbook for design and evaluation of wildlife crossing structures in North America. Western Transportation Institute (Ed.). Washington DC. Federal highway administration. 212p.
- Clevenger, A; Huijser, M. 2011. Wildlife crossing structure handbook, Design and evaluation in North America. Technical report No. FHWA-CFL/TD-11-003. Western Transportation Institute. Bozeman – United States of America. 223p.
- Comisión de Notables. 2005. Informe Final de Carácter General no Vinculante al Presidente de la República sobre el Tratado de Libre Comercio entre Centroamérica, República Dominicana y Estados Unidos de América. San José, CR.
- Corlatti, L; Hackländer, K; Frey-Roos, F. 2009. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. *Conservation Biology* 23(3):548-556.
- Fahrig, L; y Rytwinski, T. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis (en línea). *Ecology and Society* 12(1):21. Consultado sep. 10 2011. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art21/>
- Feoli, L. 2009. Costa Rica después del TLC: ¿La calma que sigue a la tempestad?. Pontificia Universidad Católica de Chile. *Revista de ciencia política* 29(2):355-379.
- Ford, A; Clevenger, A; y Bennett, A. 2009. Comparison of methods of monitoring wildlife crossing – structures on highways. *Journal of Wildlife Management* 73(7):1213-1222.

- Ford, A; Clevenger, A. 2010. Validity of the prey-trap hypothesis for carnivore-ungulate interactions at wildlife-crossing structures. *Conservation Biology* 24:1679-1685.
- Forman, R. 1995. *Land mosaics: the ecology of Landscapes and regions*. Cambridge University Press. Cambridge UK.
- Forman, R; Sperling, D; Bissonette, J; Clevenger, A; Cutshall, C; Dale, V; Fahrig, L; France, R; Goldman, C; Heanue, J; Jones, J; Swanson, F; Turrentine, T; Winter, T. 2003. *Road ecology science and solutions*. Washington DC. 481pp.
- Foster, M; Humphrey, S. 1995. Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin* 23:95-100.
- Gibbs, J; Shriver, W.G. 2002. Estimating the effects to restore of road mortality on turtle populations. *Conservation Biology* 16:1647-1652.
- Hilty, J; Lidicker, W; Merenlender, A. 2006. *Corridor ecology: The science and practice of linking landscape for biodiversity conservation*. Island Press, Washington, DC.
- Jackson, S; Griffin, C. 2000. A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. pp 143-159 in T.A. Messmer and B. West (eds) *Wildlife and highways: Seeking solutions to an ecological and socio-economic dilemma*. The Wildlife Society.
- Jaeger, J; Bowman, J; Brennan, J; Fahrig, L; Bert, D; Bouchard, J; Charbonneau, N; Frank, K; Gruber, B; von Toschanowitz, K. 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modeling* (185):329-348.
- Janzen, D. H. 2000. Costa Rica's Area de Conservación Guanacaste: a long march to survival through non-damaging biodevelopment. *Biodiversity* 1(2):7-20.
- Jones, W; Swanson, B; Wemple, C; Snyder, S. 2000. Effects of roads on hydrology, geomorphology and disturbance patches in stream networks. *Conservation Biology* (14):76:85.
- La Nación. 2010. Ampliar ruta Cañas-Liberia, primera obra con crédito del BID (en línea). Consultado nov. 5 2010. Disponible en: http://periodico.nacion.com/doc/nacion/ln_nacion-13julio2010/2010071301/10.html.
- Little, S; Harcourt, R; y Clevenger, A. 2001. Do wildlife passages act as prey-traps?. *Biological Conservation* 107:135-145.

- Lodge, T. 2000. Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *Ambio* 29(3):163-166.
- López, L. 2010. Toda la Interamericana norte es prioridad. Artículo de prensa (en línea). Consultado nov. 5 2010. Disponible en: <http://www.prensalibre.cr/pl/comentarios/30705-toda-la-interamericana-norte-es-prioridad.html>.
- MacKenzie, D; Nichols, J; Royle, J; Pollock, K; Bailey, L; Hines, J. 2006. *Occupancy Estimation and Modeling - Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Elsevier Publishing. 324p.
- Mata, C; Hervás, I; Herraz, J; Duárez, F; y Malo, J. 2003. Effectiveness of wildlife crossing structures and adapted culverts in a highway in northwest Spain. Madrid. España. Chapter 8. Habitat connectivity. Monitoring of crossing structures. ICOET Proceedings making connections.
- McRae, B; Dickson, B; Keitt, T; Shah, V; 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation. *Ecology* 89(10):2712-2724.
- McRae, B; Shah, V. 2008. Circuitscape user's guide (en línea). Consultado nov. 5 de 2011. Disponible en: <http://www.circuitscape.org>.
- Morales, J; Peris; Pedraza, E. 2000. Utilización de pasos específicos de fauna y mortandad asociada en un canal de los páramos del norte de España (Guardo, Palencia). *Galemys* 12(1)25-40.
- National Research Council. 2005. *Assessing and managing the ecological impacts of paved roads*. The National Academy Press. Washington DC. 294p.
- Olsson, M; Widen, P; Larkin, J. 2008. Effectiveness of a highway overpass to promote landscape connectivity and movement of moose and roe deer in Sweden. *Landscape and urban planning* 85:133–139.
- Prensa Libre. 2011. En agosto licitarán Interamericana norte. Periódico digital (en línea). Consultado oct. 26 2011. Disponible en: <http://www.prensalibre.cr/pl/component/content/article/39-nacional/47427-mopt-recibe-en-agosto-ofertas-para-ampliacion-de-interamericana-norte-.html>.
- Rajvanshi, A; Mathur, V; Teleki, G; y Mukherjee, S. 2001. *Roads, sensitive habitats and wildlife, environmental guidelines for India and south Asia*. Wildlife Institute of India, Canadian environmental collaborative Ltd. Toronto. 215p.

- Rodríguez, A; Crema, G; Delibes, M. 1996. Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of Applied Ecology* 33(6):1527-1540.
- Rodríguez, A; Crema, G; y Delibes, M. 1997. Factors affecting crossing of red foxes and wildcats through non-wildlife passages across a high-speed railway. *Ecography* 20:287-294.
- Sáenz, J. (datos sin publicar) Project Summary: Use of below-grade passage structures underneath the Pan-American highway by wildlife in the Guanacaste Conservation Area. Informe Técnico. Guanacaste CR.
- Shah, V; McRae, B; 2008. Circuitscape: A tool for landscape ecology. Proceedings of the 7th Python in Science Conference (en línea). Consultado dic. 5 de 2010. Disponible en: http://conference.scipy.org/proceedings/SciPy2008/paper_14.
- Seiler, A. 2003. The toll of the automobile: Wildlife and roads in Sweden. Department of Conservation Biology. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 48p.
- Trombulak, S; Frissell, C. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* 14:18-30.
- Villalobos, F. 2010. MOPT dispondrá de \$171 millones para obras de infraestructura en Guanacaste. Prensa MOPT. (En línea). Consultado nov. 5 2010. Disponible en: http://www.mopt.go.cr/documentos/Boletines/2010/Julio/Bolet%C3%ADn_Guanacaste_revisado_ASR.pdf.
- SINAC. 2011. Parque Nacional Santa Rosa. (en línea). Consultado oct. 15 2011. Disponible en: http://www.sinac.go.cr/acg_santarosa_turistica.php.
- Yáñez, M; Velasco, J.M; Suarez, F. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates the importance of culverts. *Biological Conservation* 71:217-222.

3 ARTÍCULO 1. USO DE ALCANTARILLAS COMO PASOS DE VERTEBRADOS TERRESTRES EN LA CARRETERA INTERAMERICANA QUE SEGMENTA EL ÁREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE, COSTA RICA

RESUMEN

Se describe el uso de 15 alcantarillas ubicadas bajo la Carretera Interamericana como pasos no específicos de vertebrados terrestres (pasos de fauna), a través de la ocurrencia de individuos y composición de especies en 277 eventos (número de cruces) obtenidos mediante el uso de cámaras-trampa. La proporción fue de un 2% para los anfibios, 4% para las aves, 14 % para los reptiles y 80% para los mamíferos. La mayor parte de las ocurrencias fueron de mamíferos medianos y las especies con mayor frecuencia de cruce fueron la guatusa (*Dasyprocta punctata*, n=114), garrobo (*Ctenosaura similis*, n=22), pizote (*Nasua narica*, n=17), tepezcuintle (*Agouti paca*, n=12) y ocelote (*Leopardus pardalis*, n=11). No se encontró diferencias significativas entre las ocurrencias (cruces) de la estación seca y lluviosa ($p=0.54$). Considerando que el cruce efectivo de los individuos bajo la carretera podría reducir el riesgo de mortalidad sobre ella, se comparó el uso de cada paso con la distancia a puntos de alta mortalidad de mamíferos medianos, con ello, se identificó diferencias en la composición de las especies con alta mortalidad y cruces efectivos por los pasos de fauna. El uso de los pasos de fauna durante fases lunares fue diferente ($p=0.03$) y, fue explicado de acuerdo a la actividad predador-presa, mientras que las variables ruido y temperatura tuvieron relación con los patrones de actividad de las especies.

Palabras Claves: alcantarillas, Carretera Interamericana, vertebrados terrestres, cámaras trampa, ocurrencia, pasos de fauna.

3.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la revisión de documentos publicados sobre los efectos de las carreteras sobre la abundancia animal (Fahrig y Rytwinski, 2009) existen dos categorías de especies o grupos de especies que son afectados negativamente por las carreteras, las especies vulnerables a los disturbios ocasionados por el tráfico como el ruido, luces, polutantes, movimiento de vehículos; y las especies vulnerables a la mortalidad sobre la carretera (atropellos). El primer grupo está conformado por

aquellas especies que no se atreven a cruzar la carretera o bien no toleran la perturbación cerca de ella, por lo que estas especies no tienen un alto riesgo de sufrir atropellos o se ven obligadas a usar pasos de fauna. El segundo grupo está conformado por aquellas especies que no solo encuentran en los pasos de fauna o estructuras que funcionan como tal, una oportunidad de éxito al cruzar la carretera, si no también, cruzan sobre la carretera con frecuencia aumentando la probabilidad de ser atropelladas. Esto afecta a largo plazo la viabilidad de las poblaciones, sobre todo de aquellas de densidad y, en particular especies con altos requerimientos de hábitat, bajas tasas reproductivas y mayor movilidad para las cuales la pérdida de un individuo representa un alto costo sobre la estabilidad poblacional (Gibbs y Shriver 2002, Forman et ál. 2003).

Otros efectos del tráfico sobre las carreteras se relacionan con el nivel de ruido del tránsito, siendo las aves el grupo con el cual se han realizado más estudios sobre el impacto del ruido producido por el tráfico. Reijnen et ál. (1995, 1996^{a,b}) concuerdan en que el canto de las aves, parece ser más sensitivo a niveles bajos de ruido, y que, el nivel del ruido promedio al cual las poblaciones de todas las aves de bosque comienzan a declinar es 42 dBA, y 48 dBA para las especies de pastizales. Bautista et ál. (2004) suponen que la disminución en la abundancia de rapaces al borde de la carretera durante los fines de semana, se debe en parte al mayor número de vehículos que a la vez aumentan los niveles de ruido en la carretera; por otro lado, Mendes et ál. (2011) encontraron que el mirlo (*Turdus merula*) para vencer el enmascaramiento de su canto por el nivel de ruido cerca de la carretera, altera toda su vocalización para que otros individuos de la misma especie puedan escuchar su canto.

Según Morales et ál. (2000) el aislamiento de poblaciones debido a carreteras es mitigado en forma efectiva con la instalación de pasos transversales específicos para la fauna. En Europa y principalmente en España, se ha constatado que los pasos no específicos de fauna, es decir aquellos dispuestos aleatoriamente en la carretera con objetivos diferentes a los verdaderos pasos de fauna (drenajes, alcantarillas, pasos para ganado, maquinaria, agricultores y otros), pueden ser usados con regularidad por muchos vertebrados (Yáñez et ál. 1995, Rodríguez et ál. 1996^{a,b} 1997). Alces, venados, osos, lobos, coyotes, zorros, pumas, gatos de monte, comadrejas, mamíferos semiarbóreos, especies acuáticas, pequeños mamíferos, anfibios y reptiles son algunos de los individuos que usan pasos de fauna en los Estados Unidos y Canadá (Clevenger y Huijser 2011).

De acuerdo a Beckman et ál. (2010) para desarrollar recomendaciones sobre cruces de fauna silvestre debe considerarse el contexto temporal y espacial del ecosistema, se tiene claro entonces que el primer paso para incluirse dentro de la temática de los pasos de fauna como medios de conexión es caracterizar las especies que los utilizan, cuando lo hacen y luego de ello hacer inferencias sobre el funcionamiento de los cruces de fauna en medio de la dinámica del paisaje. En base a ello, el objetivo

de este estudio fue cuantificar el uso de los cruces de fauna no específicos (en adelante cuando se refiera a esta estructura se denominará “pasos de fauna”) ubicados debajo de la Carretera Interamericana Norte que segmenta el ACG entre el kilómetro 265 y 277, durante la época seca (febrero-mayo) y lluviosa (mayo-agosto). De esta manera, se conoció la composición de vertebrados terrestres silvestres que cruzan de un lado a otro la carretera usando las alcantarillas (pasos de fauna) construidas con el objeto exclusivo de desfogue de agua o solventar alguna depresión en el terreno.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

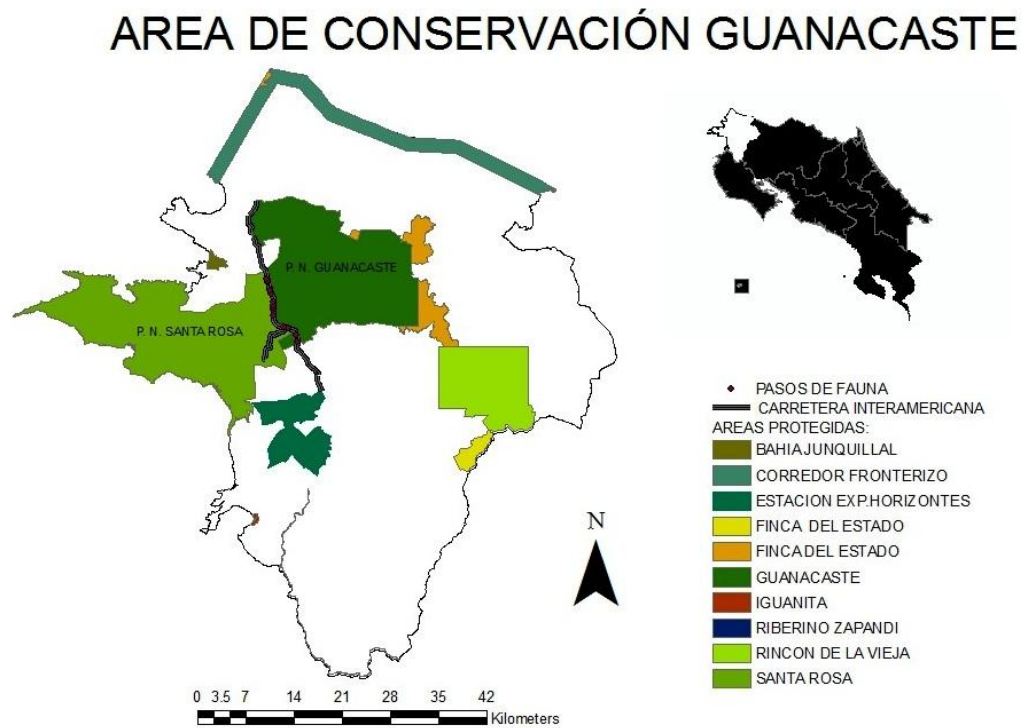
3.2.1 Área de estudio

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) se ubica en el Pacífico Noroeste de Costa Rica, incluye nueve zonas de vida entre la costa hasta los 1916 metros sobre el nivel del mar (msnm) en las estribaciones de la llanura caribeña. Tiene una extensión de 120,000 hectáreas de ecosistemas terrestres y 70,000 hectáreas marinas (ACG 2008). Según el sistema de Zonas de Vida de Holdridge el área pertenece al bosque seco tropical, tiene una temperatura promedio anual de 27°C y una precipitación promedio anual de 1250 mm; siendo los meses secos de noviembre a abril y los lluviosos de mayo a octubre (Leiva et ál. 2009).

El ACG se encuentra dividida por un segmento de la Carretera Interamericana, que separa a las áreas protegidas Guanacaste y Santa Rosa (Figura 2). Dentro de estos Parques Nacionales existen pequeñas carreteras de segundo orden que conectan las diferentes estaciones dentro del área protegida y, con excepción del acceso hasta Playa Naranjo todas son de uso restringido para efectos de control y administración del ACG. El ACG está rodeada de agropaisajes y pequeñas áreas rurales-urbanas, sin embargo, en el tramo de la carretera que biseca ambos parques, no existen poblados, tan solo asentamientos para el manejo y administración del ACG. El tramo de la Carretera Interamericana que divide al ACG posee dos carriles, uno en dirección Librería - La Cruz y otro en dirección opuesta, el ancho total de la carretera es 12 m, de los cuales ocho metros corresponden a la calzada pavimentada y con capa asfáltica y el resto al área denominada espaldón.

El área en donde se ubican los 15 pasos de fauna, se encuentra a una altitud de 279 msnm, en un segmento de 12 km, entre el kilómetro 265 y 277 de la Carretera Interamericana. Estas estructuras varían en su forma, material de construcción y longitud, así como también, en el número de accesos en cada paso (hasta tres accesos de igual tamaño y forma). Los 15 pasos de fauna fueron agrupados de acuerdo a su *forma* y *ancho* en 4 categorías: tipo *Cajón* (2 a 3 m), *Redondos “A”*, de tamaño medio, (~0.9 m de diámetro), *Redondos “B”*, de menor tamaño (~0.6 m de diámetro) y *Elípticos* (~1.5 m de

ancho). El material de las alcantarillas varía entre piezas de cemento prefabricado, hormigón armado y metal corrugado, el último, al parecer tiende a romperse en las base luego de que es oxidado por el curso del agua, ya que de las dos estructuras de este material una de ellas tiene en su base un refuerzo de cemento y la otra se encuentra rota y desgastada (Cuadro 1).



Elaborado por: Lorena Torres Tamayo / Diciembre de 2011

Figura 2. Área de estudio (pasos de fauna), Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Los pasos de fauna se encuentran a lo largo de quebradas estacionales y drenajes de escorrentía, con pendientes de hasta 6 metros de profundidad desde el borde de la carretera. Los cursos de agua a lo largo de los cuales se encuentran los pasos de fauna mantienen en sus bordes bosque ripario y, siempre verde. Al borde de las quebradas se encuentra bosque ripario y el resto se compone por bosque seco con porciones de pasto arbolado, charrales y tacotales. El ambiente inmediato a los pasos de fauna, mantiene cobertura vegetal que en muchos de los casos se conecta a la vegetación del otro lado de la carretera. En promedio, a 25 m de cada lado de la carretera se ubica el tendido eléctrico propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el cual traza un sendero casi paralelo a la carretera que además define los límites de cada Parque Nacional. En el caso de los pasos de fauna de

mayor tamaño, este sendero hace evidente la ubicación de los drenajes a través de un área abierta que deja ver parte del curso de las quebradas. Para el caso de los pasos de fauna de menor tamaño, la vegetación es más cerrada, por esta razón en la época lluviosa son poco visibles desde la carretera.

Cuadro 1. Características de los pasos de fauna (alcantarillas) evaluados en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Paso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Forma	□□□	□	□	□	○	○	ΘΘ	ooo	o	□	oo	○	□	Θ	ΘΘ
Número de accesos	3	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	1	1	1	2
Alto (m)	2.9	2.43	2.96	2.25	0.88	0.9	1.54	0.6	0.62	2.23	0.6	1.18	2.32	1.13	1.36
Ancho (m)	3.05	2.44	3.05	3.05	0.88	0.9	1.51	0.6	0.62	3.05	0.6	1.18	2.46	1.28	1.48
Largo (m)	26.6	22.2	16.8	17.54	15.86	16.94	20.35	14	14	13.35	15.5	20.15	13.6	16.5	20.47
Material	HA	HA	HA	HA	C	C	C	C	C	HA	C	C	HA	MC	MC+C

HA= Hormigón armado, C= Cemento prefabricado, MC=Metal corrugado, □ = cajón, ○ = redondo A, Θ = elíptico, o = redondo B.

3.2.2 Métodos

Una cámara de disparo automático Stealth-Cam o Scout Guard equipada con sensores infrarrojos y de movimiento fue colocada en una de las entradas de cada paso de fauna, de tal forma que, el ángulo de captura (foto) se orientó para fotografiar desde vertebrados pequeños (ratones) hasta grandes mamíferos (venados). Las cámaras registraron datos en forma continua entre los meses febrero a julio de 2011, correspondientes a tres meses de la época seca (febrero, marzo y abril) y tres de la época de lluvia (mayo, junio y julio). Cada 10 días se descargó los registros fotográficos e inspeccionó el nivel de carga de las baterías y el estado de las cámaras.

Para evitar pseudo-replicaciones de los registros y, garantizar la independencia de los datos de especies e individuos, se asumió que hubo independencia entre un registro y otro después de 6 horas, de esta manera si una especie fue identificada en las primeras 6 horas del día y también en el segundo bloque de 6 horas, se tomó como registro independiente al primero, de igual manera se procedió con los dos bloques (6 horas c/u) restantes a lo largo de cada día de muestreo. Las 6 horas propuestas están basadas en la experiencia de trabajos de ecología de movimiento de varias especies de vertebrados

medianos y grandes como venados, saínos, pizotes, mapaches y felinos mediante análisis de datos de radiotelemetría (Sáenz, com. pers.³).

La cantidad de registros por estación climática fue comparada con la prueba *t* de Student para muestras independientes. Además, la influencia de la estación sobre los grupos de especies (anfibios, aves, reptiles y mamíferos) se evaluó a través de una tabla de contingencia, así se probó si la abundancia de los diferentes taxa dependió de la estación o no.

Bajo el supuesto de que pudieran existir mejores pasos de fauna que otros y, teniendo en cuenta que existen tres tipos de pasos de fauna diferentes en forma, material y tamaño, se asumió que estas características deberían influir sobre los distintos grupos de especies que usan estos pasos, por ello, se obtuvo la probabilidad de detección para cada tipo de paso, usando el programa MARK 6.1 (White y Burnham 1999) y se calculó un índice de ocurrencia para cada grupo (aves, mamíferos, reptiles y anfibios) con la siguiente fórmula:

$$\frac{Op}{Np}$$

$$O$$

donde:

Op = Ocurrencia del grupo en el tipo de paso “x”

Np = Número de pasos del tipo “x”

O = Ocurrencia total del grupo en las 15 estructuras de cruce

Con el objeto de conocer mejor la relación de los pasos de fauna con los sitios de mortalidad de vertebrados en la carretera, se realizó un análisis de correlación entre la ocurrencia de mamíferos medianos en cada paso con la distancia hacia 3 puntos de la carretera con alta mortalidad de mamíferos medianos (puntos calientes de colisiones fauna-vehículo) y determinar si, los pasos de fauna influyen en la mortalidad de mamíferos medianos bajo la premisa que a mayor distancia con el punto de mortalidad, mayor será el registro o cruces de especies en el paso de fauna (Sáenz, datos sin publicar).

Se evaluó el efecto que tuvo las fases de la luna (nueva, llena, creciente y menguante) sobre la ocurrencia de las especies en los pasos de fauna a través de una tabla de contingencia, lo que probó si el uso de los pasos de fauna por vertebrados fue independiente de las fases lunares. Se tomó como

³ Sáenz, J. 2010. Pseudo-réplicas con registros fotográficos (correo electrónico). Heredia, CR, Universidad Nacional, ICOMVIS.

datos para el análisis todos aquellos registros de las especies realizadas en la noche, entre las 06:00 pm y 05:00 am (n=78) y, solamente de aquellos que se identificaron a nivel de especie y con más de dos registros de cruce. De esta manera, dado el reducido número de anfibios registrados, el análisis se realizó solamente para el grupo mamíferos.

Antes de caracterizar la variable ruido, se interpretó la relación que esta tuvo con el tráfico sobre la zona de estudio. Para ello se consideró la metodología para obtener el valor del tránsito promedio diario (TPD) utilizada por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT com. pers.⁴). Se registró el número total de vehículos cruzando sobre el punto medio del tramo de la carretera de interés (excluyendo motocicletas) durante cinco días, los cuales fueron elegidos de forma aleatoria entre las 7:00 y 13:00 horas a lo largo de los seis meses de estudio. Con estos conteos se obtuvo promedios para cada hora y el valor final calculado por día se multiplicó por el factor de expansión recomendado por el MOPT para zonas viales cantonales (factor =10). La relación final entre estas variables fue útil para asumir que la variable ruido es una buena variable “proxy” que representa la intensidad de tráfico por hora cruzando sobre la carretera.

La presencia de rutas alternas que desvíen a los transportistas fuera de la carretera en donde están ubicados los pasos de fauna es nula, por lo tanto, se asumió que el comportamiento del tránsito es homogéneo sobre los 12 km de estudio. La variable ruido fue obtenida a través de un medidor portátil de ruido marca EXTECH, modelo 407760. El medidor de ruido fue ubicado en el centro del tramo de interés, en uno de los bordes de la carretera, y fue programado para que registre datos cada 30 segundos durante 4 sesiones de muestreo (11 días en total) separadas en el tiempo de forma aleatoria (de abril a julio). Los datos de ruido fueron agrupados por horas para finalmente obtener un valor representativo (mediana) para cada hora del día y poder asignarlo de acuerdo a la hora de registro en que cruzó por los pasos de fauna cada individuo de las distintas especies.

La temperatura fue registrada con un medidor LogTag modelo Trex-8 (data logger) colocado en el interior de cada uno de los pasos. Durante dos meses representativos de la estación seca y de lluvias (abril y junio), el data logger registró la temperatura interior del paso con intervalos de 30 minutos. Se obtuvo con ello el promedio por hora de la temperatura de cada paso por estación y a su vez el valor de la temperatura correspondiente a cada registro de cruce. Además, los registros de temperatura de las cámaras (ubicadas fuera de los pasos) fueron comparados con los registros obtenidos con los data logger dentro de cada paso para conocer la diferencia en la temperatura de forma precisa.

⁴ MOPT. 2011. Inventario del flujo y composición del tránsito (documento técnico). Dirección de Planificación. Liberia, CR.

A través de un gráfico de dispersión se explicó la relación que el ruido y temperatura tuvo con el número de especies (por hora). Con un análisis de correlación (*Pearson*) se interpretó la relación entre el ruido y el número de guatusas (hora) cruzando por los pasos de fauna. Para conocer la relación que el ruido y temperatura tuvo sobre la composición de especies, se realizó un análisis de Redundancia Canónica. El análisis consideró los cruces de cada especie identificada y clasificados según la hora de cruce con su respectivo valor de las variables predictivas (ruido y temperatura), el resultado se presentó en un biplot RDA. Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et ál. 2009) excepto por las probabilidades de detección para cada tipo de paso de fauna que fueron obtenidas a través del programa MARK 6.1 (White y Burnham 1999).

3.3 RESULTADOS

Se registraron 277 cruces de vertebrados terrestres por los pasos de fauna. La proporción fue de un 2% para los anfibios, 4% para las aves, 14 % para los reptiles y 80% para los mamíferos. Entre los mamíferos el grupo con mayor uso de los pasos de fauna fueron los de tamaño medio, un 86% del total de los registros fue de este grupo, seguido por los mamíferos pequeños (ratones) con un 11% y finalmente, los mamíferos grandes con un 3%. Cuarenta especies de vertebrados silvestres utilizaron los pasos de fauna, cuatro especies de anfibios, seis especies de aves, ocho especies de reptiles y 23 especies de mamíferos (Anexo 1 y 2). Entre los últimos se encuentran siete mamíferos pequeños, 15 medianos y dos especies de mamíferos grandes.

Las especies más representativas de acuerdo a la frecuencia de sus registros fueron: la guatusa (n=114), garrobo (n=22), pizote (n=17), tepezcuintle (n=12) y ocelote (n=11). El 56% de los registros se dieron en la estación seca y el restante 44%, en la época de lluvias. En el Cuadro 2, se muestra que no existen diferencias significativas ($p=0.5441$) entre la cantidad de registros para las estaciones de muestreo (seca y lluviosa).

Por grupos, los resultados mostraron una relación entre el cruce de individuos por grupo y la estación ($p=0.0018$). Lo anterior indica que las especies que cruzan los pasos de fauna es dependiente de la estación; así por ejemplo, los reptiles son más abundantes en la época seca, anfibios en la época lluviosa, las aves cambian la composición de especies entre estaciones y los mamíferos comparten especies entre estaciones y a la vez se dejan de registrar especies en el invierno así como también se registran nuevas especies.

Cuadro 2. Comparación de los registros de vertebrados cruzando los pasos de fauna durante la época seca y lluviosa (febrero a julio de 2011) en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. La prueba es t para muestras independientes.

Clasif.	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
ESTACIÓN	n	LLUVIOSA	SECA	28	25	4.36	6.2	0.6979	-0.61	0.5441	Bilateral

Por especies, todos los anfibios identificados fueron registrados en la estación lluviosa con excepción del sapo marino (*Rhinella marina*) que solo tuvo un registro en la estación seca. Para el caso de las aves, la composición de especies fue diferente entre estaciones, la pava (*Crax rubra*), halcón de alas anchas (*Buteo platypterus*), el soterrey de costado barreteado (*Thryothorus pleurostictus*) y el tinamú (*Crypturellus cinnamomeus*) fueron registrados en la estación seca, y solo la garza tigre de cuello desnudo (*Trigrosoma mexicanum*) en la estación lluviosa. La mayoría de los individuos del grupo de los reptiles (especie) que fueron registrados en la estación seca estuvieron ausentes en la estación lluviosa a excepción del garrobo, presente en la estación lluviosa con una amplia reducción en sus conteos (20 registros en la estación seca y 2 en la lluviosa).

La mitad de las especies de mamíferos fue registrada en las dos estaciones de muestreo, especies como: el puma (*Puma concolor*), taira (*Eira barbara*), zorro hediondo (*Conepatus semistriatus*), yaguarundi (*Puma yagouaroundi*), zorro hediondo manchado (*Spilogale putorius*), y la ardilla variable (*Sciurus variegatoides*) visitaron los pasos de fauna solo en la estación seca. El oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), armadillo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), mapache (*Procyon lotor*) y el zorro de balsa (*Caluromys derbianus*) cruzaron bajo la carretera solo en la estación lluviosa.

Para los pasos de cajón se registró la mayor probabilidad de detección, el mayor número de especies y mayor diversidad de tamaños, con un total de 26 especies (del total n=40). Este tipo de paso fue el único que permitió el cruce de mamíferos grandes (n=2), 13 mamíferos medianos, tres pequeños, un anfibio, dos reptiles y cinco aves). Los pasos elípticos compartieron igual valor en su probabilidad de detección que los pasos del tipo Redondo “A”. En los pasos elípticos se registraron 20 especies, seis de ellas mamíferos medianos, cinco pequeños, un anfibio, siete reptiles y dos aves. Los pasos redondos “A” registraron 10 especies, cuatro de ellas mamíferos medianos, dos mamíferos pequeños, dos anfibios y un reptil. A través de los pasos redondos “B”, de tamaño menor cruzaron cuatro especies, tres mamíferos pequeños y una ave, este tipo de pasos presentaron probabilidades de detección

menores (Cuadro 3). En cuanto a las aves, se observó a individuos de tamaño grande en pasos de cajón y elípticos (halcón de alas anchas y pava).

Cuadro 3. Probabilidad de detección de especies y tasas de ocupación por grupo de vertebrados según el tipo de paso de fauna de la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

PASO	n	PROBABILIDAD DE DETECCIÓN				OCURRENCIA POR GRUPO DE VERTEBRADOS					
		Detección	Error estándar	LI(95%)	LS(95%)	ANFIBIOS	AVES	REPTILES	MAMÍFEROS GRANDES	MAMÍFEROS MEDIANOS	MAMÍFEROS PEQUEÑOS
Cajón	6	0.08	0.02	0.03	0.12	0.17	0.42	0.24	1	0.57	0.38
Elíptico	3	0.04	0.02	-0.02	0.11	0.33	0.42	0.58	0	0.06	0.56
Redondo A	3	0.04	0.01	-0.003	0.08	0.5	0	0.18	0	0.23	0.06
Redondo B	3	0.02	0	0.02	0.02	0	0.17	0	0	0.14	0

De acuerdo a los datos previos (Sáenz, datos sin publicar) existen tres puntos calientes de mortalidad (mamíferos medianos) distribuidos, al sur, centro y norte del área de estudio, el punto ubicado al sur se encuentra a 1.4 km del paso de fauna más cercano (paso 1), el segundo punto de alta mortalidad se ubica en medio del conjunto de pasos de fauna (alrededor del paso 6), y el punto norte a 0.16 km del paso número 15. En la Figura 3 se presenta la relación entre las distancias a los puntos calientes de mortalidad y la frecuencia de cruces registrados en cada paso.

El coeficiente de correlación (*Pearson*) entre las distancia y la frecuencia de cruce de los mamíferos medianos por cada paso tuvo un valor de 0.69 para la distancia uno ($p=0.0043$), y correlacionó en forma negativa para la distancia tres con el mismo valor (-0.69 , $p=0.0042$). La distancia dos no presentó correlación (0.11 , $p=0.69$). En la Figura 3, el área sobre los pasos cinco, seis, y siete, en donde se observa un alto cruce de mamíferos y coincide bajo un área de alta mortalidad, se registró el cruce de guatusas, ocelotes, yaguarundi, zorro hediondo, y zorro pelón, y el punto caliente obedece a la alta mortalidad del armadillo de nueve bandas solamente.

Para el caso del punto caliente norte, las especies con alto registro de mortalidad son el zorro pelón y el armadillo de nueve bandas, y las registradas cruzando por los pasos 14, 15 y 16 fueron el tepezcuintle, la ardilla variable (*Sciurus variegatoides*), el ocelote y el armadillo de nueve bandas, no se obtuvo el registro del zorro pelón, y los registros del armadillo de nueve bandas apenas se

registraron en la época de lluvias. Aunque más distante que los otros puntos calientes, el punto de alta mortalidad sur (1.4 km del paso uno) obedece a la alta mortalidad del zorro pelón, especie que también utilizó el paso uno.

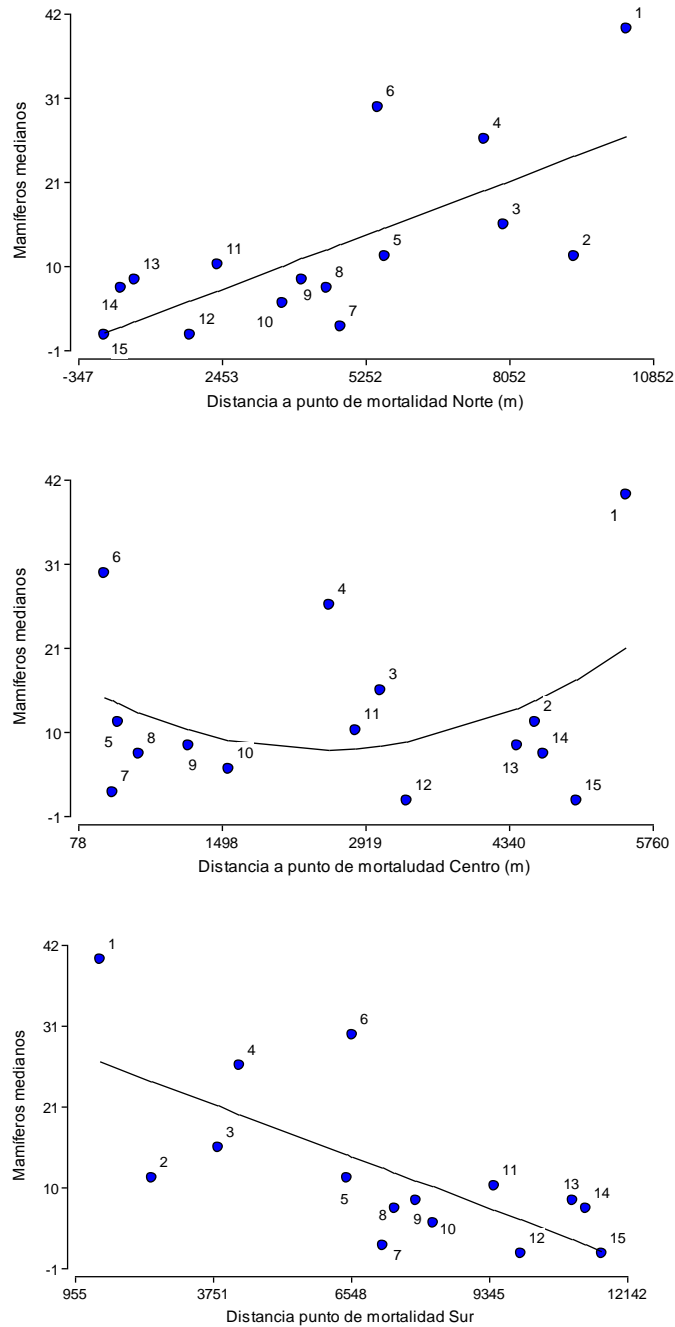


Figura 3. Distancias a puntos de alta mortalidad y frecuencia de cruce de mamíferos (medianos) en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (número junto a círculos representan al paso de fauna).

El análisis de tablas de contingencia indicó la dependencia de las variables fases de la luna y el cruce de los mamíferos por los pasos de fauna ($p=0.03$). En la Figura 4, el análisis de correspondencias la varianza explicada en el primer eje fue 73.59%, y en el eje dos con un 19%. Se observa que el zorro pelón se presenta en luna con fases nueva y creciente, el pizote (*Nasua narica*) no presenta tendencias definidas de cruce entre la luna llena, menguante, nueva o creciente, el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y la guatusa fueron registrados en luna llena. El armadillo de nueve bandas tuvo mayor actividad en luna menguante, el ocelote, el zorro norteño (*Didelphis virginiana*), el tepezcuintle y los ratones entre lunas crecientes y menguantes.

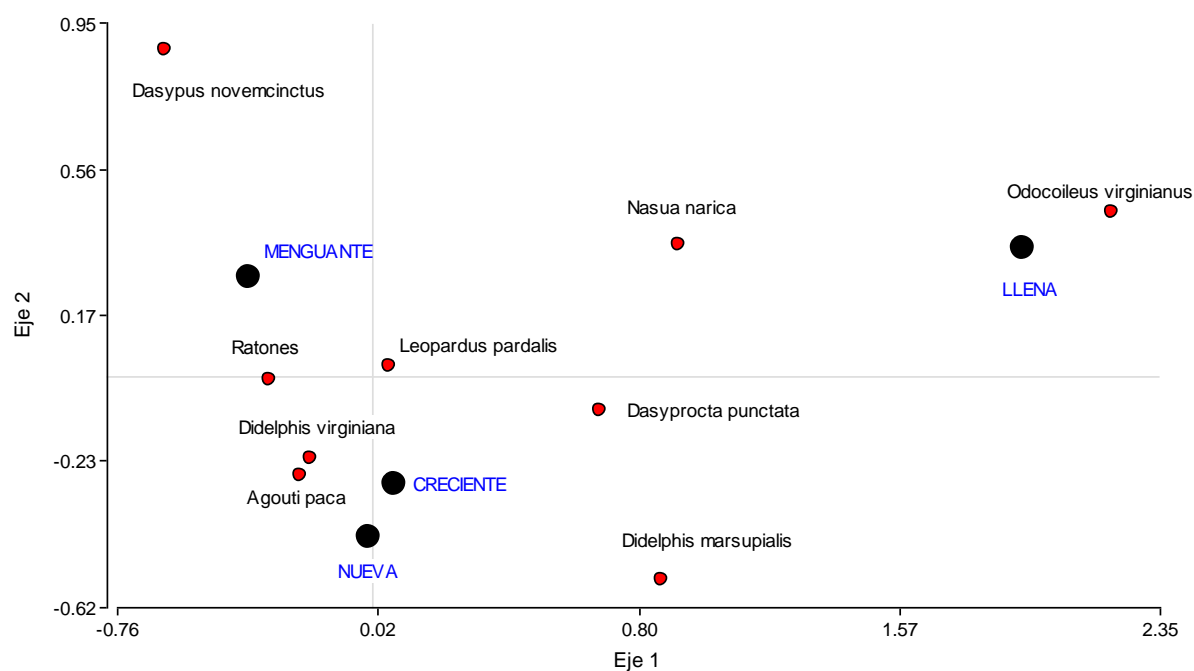


Figura 4. Relación de correspondencia entre el número de veces que usaron los mamíferos los pasos de fauna y las fases de la luna (círculos negros más grandes), en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (*Dasyprocta punctata* = armadillo de nueve bandas, *Didelphis virginiana* = zorro norteño, *Agouti paca* = tepezcuintle, *Leopardus pardalis* = ocelote, *Dasyprocta punctata* = guatusa, *Didelphis marsupialis* = zorro pelón, *Nasua narica* = pizote, *Odocoileus virginianus* = venado de cola blanca).

A nivel de la composición de especies, el análisis de redundancia canónica mostró el efecto del ruido y temperatura sobre el número de especies cruzando por los pasos de fauna (inercia de eje 1 fue de -0.98 para la variable ruido y de 0.57 para la temperatura, en el eje 2, el ruido es explicado con un valor de 0.22 y la temperatura con -0.82). El coeficiente de determinación (R^2) para las variables ruido y temperatura fue de 0.35 y 0.46 respectivamente. Se determinó un efecto tanto para la variable temperatura como para el ruido sobre la movilidad de las especies a través de los cruces de fauna ($p = 0.001$). La Figura 5, representa el efecto de la temperatura y nivel de ruido registrados según la hora de cruce de los individuos.

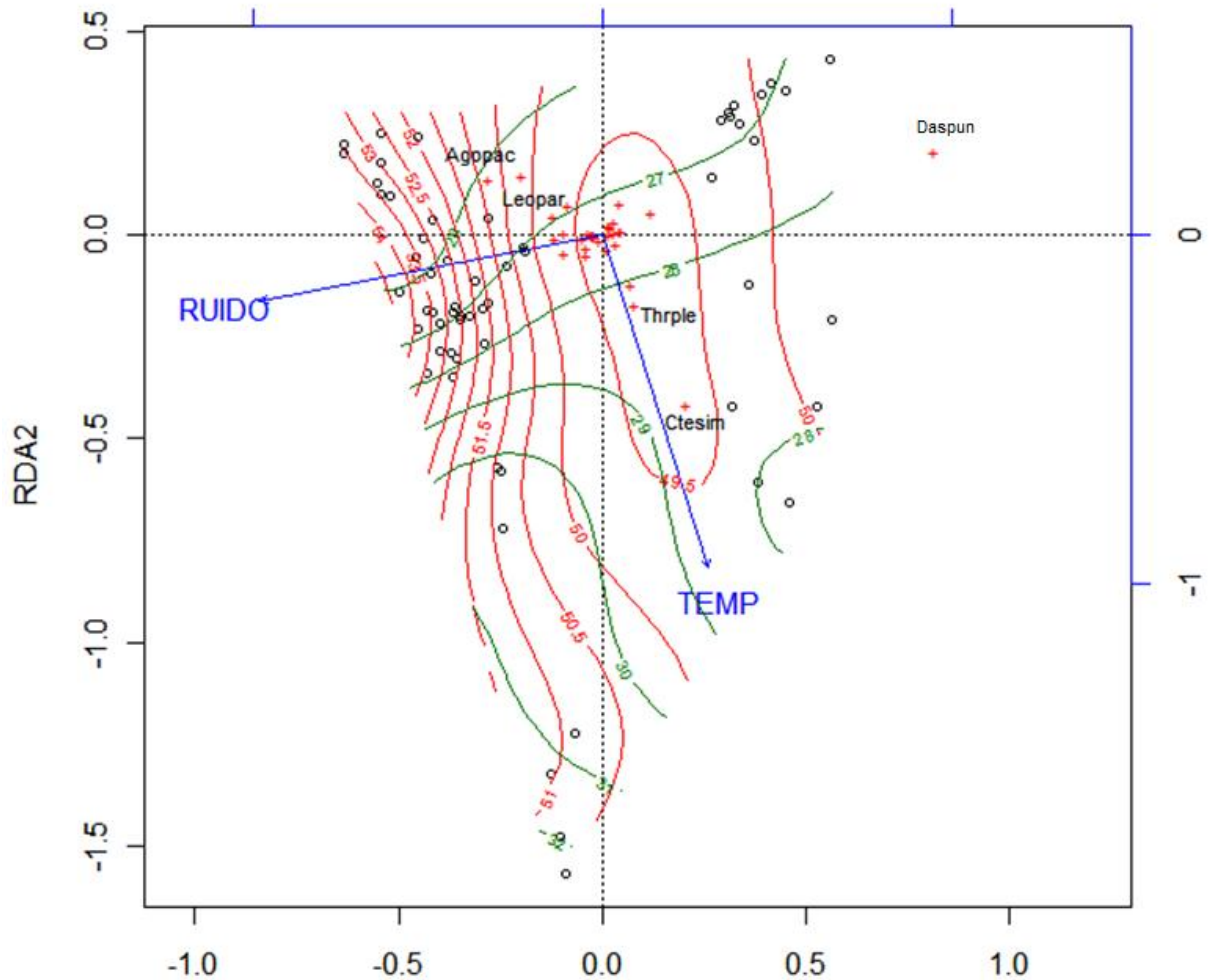


Figura 5. Relación de la composición de especies (+) que cruzan los pasos de fauna con los variables ruido y temperatura, en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (Agopac = tepezcuintle, Leopar = Ocelote, Dasun = guatusa, Thrple = soterrey de costado barreteado).

La especie con mayor relación con temperaturas bajas (26°C) fue el tepezcuintle, seguida por el ocelote. El armadillo de nueve bandas y la rata de monte (*Ototylomys phyllotis*) atraviesan los pasos con temperaturas alrededor de los 27°C. El resto de las especies generalmente se vincula con temperaturas entre los 27°C y 28°C, a excepción de la guatusa. En cuanto a la variable ruido, valores entre 48 y 48.5 dBA, fueron propios del tepezcuintle, seguido por el ocelote con un rango hasta 49 dBA. El armadillo de nueve bandas, zorro pelón, zorro norteño, ratón o rata de monte (*Liomys salvini* y *Ototylomys phyllotis*) se concentraron entre los 49 y 49.5 dBA, el resto de especies se ubicó alrededor de los 49.5 dBA.

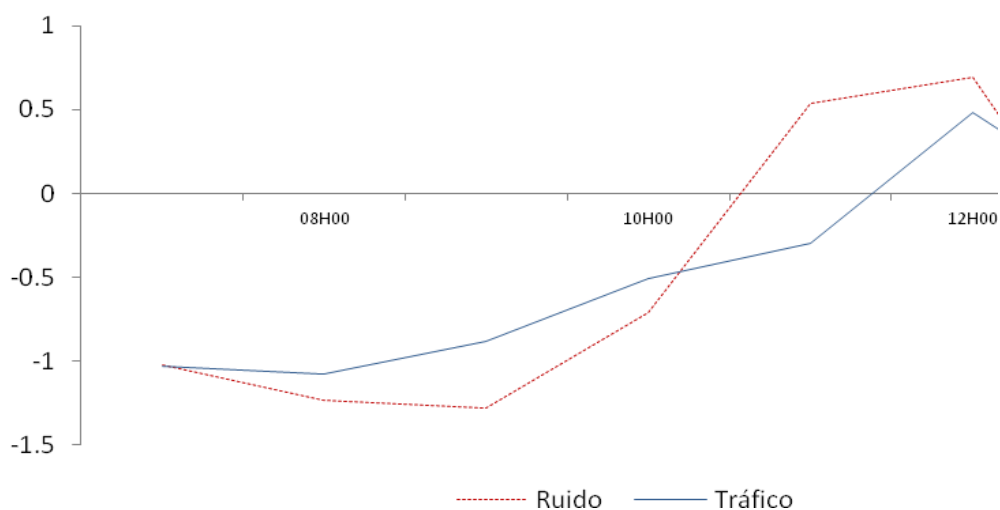


Figura 6. Relación entre el conteo del tráfico y nivel de ruido (por hora) en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

En la Figura 6 (línea continua) se observa el conteo de vehículos durante la mañana. En general el tráfico guarda relación con el ruido, especialmente entre las 09:30 y las 13:00 horas. En las primeras horas de conteo, no guardan relación proporcional con el nivel de ruido (alrededor de las 8:00 am). El tráfico en esta carretera está representado principalmente por vehículos de carga (pesados y livianos), automóviles y vehículos de transporte. Al ser la Carretera Interamericana un enlace para el comercio centroamericano, los vehículos de carga pesada transitan durante todo el día, sin embargo presentan períodos en donde usan la carretera de forma casi exclusiva (primeras horas de la noche hasta las primeras horas del día). Alrededor de las 08:00 am, vehículos de carga liviana y sobre todo

automotores son más frecuentes de observar. El tránsito promedio diario (TPD) registrado sobre el tramo de estudio alcanza 1190 vehículos /día.

En la Figura 7, se observa la relación entre el ruido y el conteo de especies y cruces de la guatusa, especie con mayor ocurrencia en este estudio, fue la única para la cual su patrón de actividad diario se correlacionó con el nivel del ruido ($r = -0.73$). El nivel máximo de ruido alcanzó los 54.3 dBA generalmente alrededor de la 01:00 am, el nivel menor (48.3 dBA) se registró entre las 05:00 y 06:00 de la mañana. El ruido diario promedio fue de 51.6 dBA (sobre la carretera).

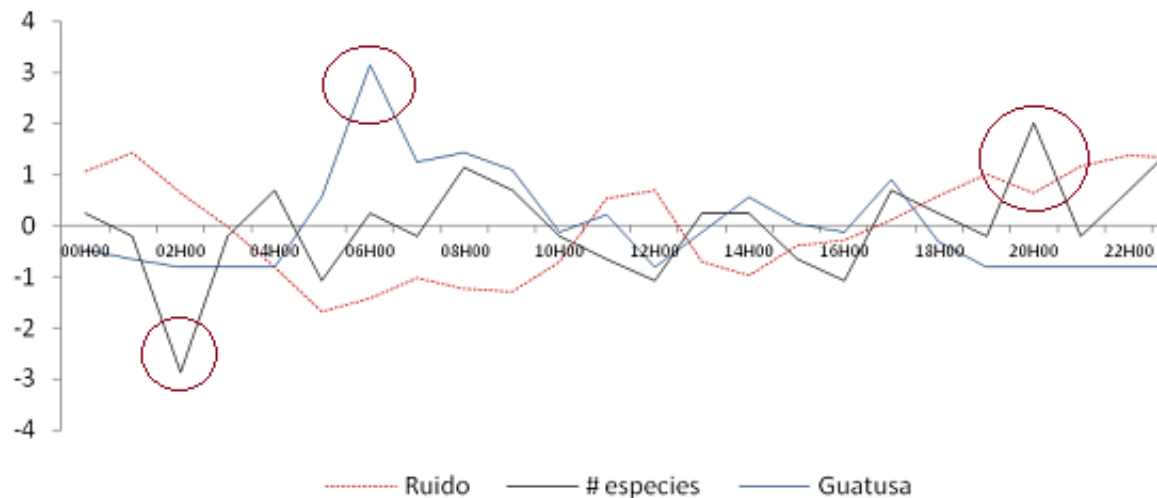


Figura 7. Relación entre el nivel del ruido (dBA) y conteo de especies y guatusas que cruzan (por hora) por los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que atraviesa el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (datos estandarizados).

De acuerdo a las estadísticas climáticas obtenidas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN 2011) en la estación meteorológica “Santa Elena” (Lat. 10° 51’ 11” N, Long. 85° 36’ 38” O), entre el período febrero – julio de 2011, la temperatura promedio para los meses febrero, marzo y abril fue de 27.8°C, y para los meses mayo, junio y julio de 25.9°C. El rango de la temperatura mínima y máxima para las dos estaciones fue de 21.7 a 31.7°C. Dentro de los pasos, la temperatura media fue de 25.4°C para los meses secos, y para el invierno de 24.9°C. Se detectó que la variación en la temperatura dentro de los pasos y fuera de ellos (temperatura cámaras) tuvo una diferencia de 1°C entre las 19:00 y 07:00 horas (pasos de fauna con mayor temperatura que la ambiente), y hasta 2.4°C (pasos de fauna con menor temperatura que la ambiente) entre las 07:00 y 18:00 horas en las dos estaciones.

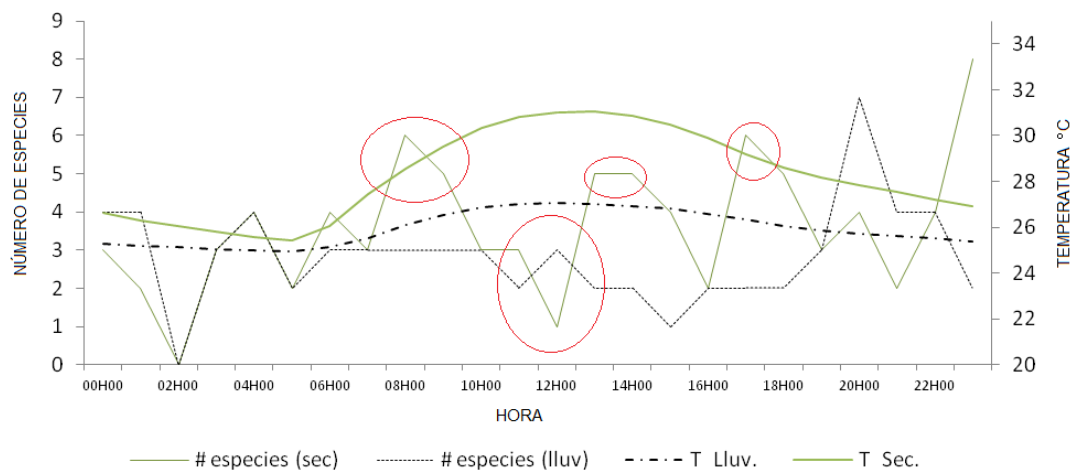


Figura 8. Temperatura ambiente entre estaciones seca y lluviosa y número de especies usando los pasos de fauna (por hora) en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

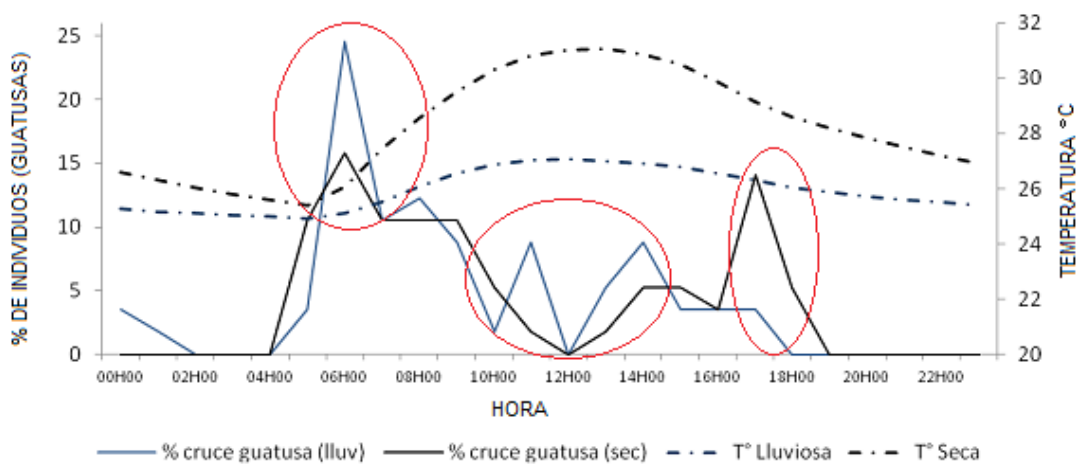


Figura 9. Temperatura ambiente entre estaciones seca y lluviosa y número de guatusas usando los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Al comparar el número de especies (hora) entre estaciones con la temperatura (hora) ambiente, se encuentra una disminución del uso de los pasos de fauna en la estación seca a las 12:00 pm, hora en que la temperatura se encuentra en su punto más alto (Figura 8). En el resto de horas, no se registró un efecto claro de la temperatura sobre el conteo de especies (hora). Las variaciones estacionales en la temperatura definieron leves cambios en el patrón de actividad de la guatusa (Figura 9).

3.4 DISCUSIÓN

La composición de especies y cantidad de mamíferos que cruzan la carretera a través de los pasos de fauna confirman la hipótesis inicial, que consideró que aquellas especies de mayor movilidad y de mayores requerimientos de hábitat (mamíferos medianos y grandes) son también los mayores usuarios de estos pasos. A pesar que se registro dos especies de mamíferos grandes (venado y puma), otras especies de mamíferos grandes que también se distribuyen en esta zona no fueron registradas, y sobre estas, es importante considerar que la danta (*Tapirus bairdii*) tiene como hábitats para su mantenimiento el bosque y áreas poco alteradas, por lo cual el borde de una carretera de primer orden no sería un hábitat típico para esta especie.

El jaguar (*Panthera onca*), no registrado en este estudio pero que, puede ser observado en áreas cercanas a la carretera y debido a que su tamaño le permitiría cruzar solo por los pasos de fauna más grandes, posiblemente esté cruzando sobre la carretera en sus desplazamientos. Al igual que lo hacen pumas y venados al pasar por senderos en donde no existen pasos accesibles y cercanos (varios venados fueron observados cerca de la carretera en áreas con pasos pequeños para su tamaño corporal), lo que concuerda con los estudios de Rodríguez et ál. (1996), en donde no tuvieron mayor registro de ungulados cruzando los pasos, pero si se observó algunos individuos cruzando sobre la carretera.

Por otro lado pueden existir restricciones para el paso de especies grandes debidas al tamaño de las estructuras en este estudio. Corlatti et ál. (2009) indican que para carnívoros de pequeño tamaño, drenajes de 0.79 m de diámetro con un adecuado cerco son eficientes; sin embargo, señalan que para la mayoría de carnívoros grandes y venados una estructura de 3 m (como las más grandes de este estudio), es considerada mínima. Ruediger y DiGiorgo (2007) indican que para algunas especies que son más adaptables como el coyote, mapache y zarigüeyas, el material del paso no tiene mayor significancia, pero para otras como venados, alces y otros ungulados el material es importante y debe estar provisto de vegetación dentro de los pasos (ramas, troncos). Lo anterior, explica en parte el bajo número de venados cruzando por los pasos de fauna bajo la Carretera Interamericana.

El tepezcluintle, tolomuco (*Eira barbara*), lagartija espinosa rojiza (*Sceloporus squamosus*), garza tigre (*Trigrosoma mexicanum*), halcón de alas anchas (*Buteo platypterus*) y el soterrey de

costado barreteado (*Thryothorus pleurostictus*) son especies que han sido registradas en este estudio, pero no cuentan con registros de mortalidad en la Carretera Interamericana (Sáenz, datos sin publicar), ni por observaciones personales de muerte en la carretera u observaciones por parte del personal del ACG. Es posible sin embargo que la lagartija espinosa rojiza y el soterrey de costado barreteado sean parte del conjunto de individuos con tasas de mortalidad sobre la Carretera Interamericana a los cuales, el impacto con los vehículos los deja irreconocibles a nivel de especie.

Especies comunes como el conejo cola de algodón (*Sylvilagus floridanus*), zorro hediondo encapuchado (*Mephitis macroura*), el zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*) y el coyote (*Canis latrans*), cuentan con registros de mortalidad pero no usaron los pasos de fauna. Estas especies se distribuyen en áreas perturbadas a más del bosque deciduo (Wainwright 2007) y probable sus poblaciones ocupen áreas abiertas alejadas de los pasos de fauna descritos. Janzen (1991) observó coyotes muy temprano en la mañana recogiendo animales muertos en la Carretera Interamericana (Liberia - La Cruz), y al cuestionar la presencia de los coyotes en bosques, potreros y en todos los bosques caducifolios del Parque Nacional Santa Rosa, sospecha que son invasores recientes luego de la tala masiva de los bosques, lo que se ve reflejado además, en el avance de su distribución sur (Actualmente desde Alaska hasta Panamá según Wainwright, 2007).

Lo anterior, supone que, en el tramo de estudio, o las poblaciones de coyote simplemente no usan los pasos de fauna; o estos son más abundantes en áreas con mayores procesos de perturbación, factor que disminuiría la probabilidad de registro en los 12 km de la carretera que son parte de este estudio, y sería mayor en otras áreas en la carretera fuera del ACG, cerca de potreros o cultivos. Esto también se respalda en la descripción de la especie realizada por Wainwright (2007), quien menciona que, el coyote es conocido por ser beneficiado a cierto grado de actividades humanas en Costa Rica y Panamá, y puede llegar a ser de común a poco común dentro de su rango de distribución.

La mayor parte de las especies vertebradas no arbóreas, comunes para la zona de estudio y de tolerancia a hábitats perturbados han sido registradas al menos una vez usando los pasos de fauna, otras no tan comunes también cruzaron bajo la carretera (ocelote, yaguarundi, zorro hediondo manchado, oso hormiguero, tepezcuintle), sin embargo, especies como el zorro de agua (*Chironectes minimus*), perro de agua (*Lutra longicaudis*) y el grisón (*Galictis vittata*) bien pudieron ser parte del conjunto de especies que utiliza los pasos de fauna. En vista de lo anterior, es posible que estas especies prefieran mantener su rango de hogar cerca de cuerpos de agua con características diferentes a los que se forman en los pasos de fauna en la estación de lluvia. Ruediger (2007), como anécdota, comenta que observó a nutrias de río evitar caminos, alcantarillas o puentes sobre ríos, desplazándose fuera del curso de agua e inclusive cruzando la carretera.

Entre las especies consideradas raras, se contó con el registro del zorro hediondo (*Conepatus semistriatus*), que a la vez cuenta con registros de atropellos en el ACG. Por otro lado, especies no registradas con distribución en el área son el armadillo zopilote (*Cabassous centralis*), y el oso hormiguero gigante (*Myrmecophaga tridactyla*), las dos con pocas oportunidades de ser encontrada, pues son consideradas muy raras, de pocos registros, e inclusive el oso hormiguero gigante se considera extinto en el territorio de Costa Rica (Wainwright 2007) y el armadillo zopilote posiblemente ocurre en zonas más altas del ACG (Sáenz 2011 com. pers⁵).

La guatusa es la especie más habituada a estos tipos de pasos de fauna, tanto en época seca como lluviosa. Aunque no existen estudios poblacionales de esta especie, es considerada común en el área. Sin embargo, pese a que es abundante y utilice con frecuencia los pasos de fauna, es importante tener en cuenta que existen pocos datos de mortalidad de este roedor sobre los 35 km de la carretera (incluyendo los 12 km donde se ubican los pasos de fauna) que atraviesa toda el ACG. Este factor sugiere que esta especie se ha adaptado bien a la perturbación de su hábitat, incluida la carretera.

Por otro lado, el garrobo utiliza los pasos de fauna como medio de cruce y como sustratos para la termorregulación en horas en las cuales la temperatura aumenta, lo que concuerda con los estudios de Rodríguez et ál. (1996) quienes describen que los reptiles prefieren sustratos o entradas a los pasos con menor cobertura. En este estudio, durante la estación seca, el bosque pierde la mayor parte de las hojas, dejando áreas relativamente abiertas en las entradas de los pasos de fauna. El garrobo, también fue observado varias veces cruzando sobre la carretera, razón por la cual las tasas de atropello son altas; sin embargo es posible que la especie también prefiera cruzar por los paso de fauna, siempre que los individuos los encuentran disponibles dentro de su rango de hogar. Por otro lado, también se registró cruces sobre la carretera del pizote, sin embargo la frecuencia de los cruces no fue alta y guarda relación con el escaso número de individuos atropellados al igual que el tepezcuintle, del cual no existen registros de atropello.

Es importante resaltar la frecuencia de uso de los pasos de fauna (11 registros) por el ocelote, pese a que es descrito como una especie no común (Wainwright 2007), se lo considera un carnívoro común en este estudio. Del total de registros de ocelotes cuatro fueron de un mismo individuo, lo que no resta importancia al número de ocurrencias totales. Este mismo individuo cruzó en un sentido por uno de los pasos de fauna y tres días después en el sentido contrario por otro paso ubicado a 3 km de este, lo que sugiere, que este individuo tiene su ámbito de hogar en esta zona y, los pasos de fauna le están sirviendo de conectores entre hábitats, y le permiten moverse por toda su área de acción.

⁵ Sáenz, J. 2011. Comentarios sobre distribución de especies en el ACG. (comunicación personal). Heredia, CR, Universidad Nacional, ICOMVIS.

Teniendo en cuenta los registros de depredación del ocelote sobre individuos de guatusas en Barro Colorado (Aliaga-Rossel et ál. 2006) y la alta frecuencia de cruce de esta especie por los pasos de fauna en relación a las demás especies, se plantea dos escenarios. El primero, el ocelote registrado cruzando los pasos de fauna, cruza varias veces los pasos de fauna (en algunos casos el mismo paso), ha establecido su ámbito de hogar en un área de alta densidad de presas, lo cual sugiere la hipótesis de que los pasos de fauna podrían estar actuando como trampas para la depredación. Segundo, que los pasos de fauna no son trampas para las guatusas, ellas están aprovechando estos pasos porque les permiten moverse de un lado a otro de la carretera sin ser atropelladas y, que la presencia de guatusas en esta zona es producto simplemente de alta densidad poblacional que tiene esta especie en el PNSR y PNG (Sáenz, com. pers.⁶).

La composición de especies de este estudio fue reducida para el grupo de aves, según Reijnen et ál. (1996^{a, b}) pocas especies se ven beneficiadas con los pasos de fauna o de la perturbación de la carretera, y en general reconocen que las especies de menor tamaño no están presentes en áreas con alta densidad de carreteras. En este estudio, dada la amplia cobertura vegetal sobre los márgenes de la carretera, ocurren rapaces y carroñeros que se benefician de los restos de los animales muertos por atropellos. Además, es común observar al borde de la carretera urracas, pavas, perdices, carpinteros, y algunos paseriformes, en cuanto a estos últimos, el único paseriforme registrado usando los pasos de fauna fue el soterrey, que al parecer busca alimento en los pasos de fauna y es una especie común en la costa noreste del país (Garrigues y Dean 2007). Por otro lado, para las aves de vuelos cortos, como la pava y tinamú, los pasos de fauna son un medio ideal para evadir el riesgo de colisión sobre la vía. En cuanto a las garzas, los pasos de fauna también parecen ser áreas de forrajeo, observaciones personales tuvieron en cuenta que la garza tigre empezó a utilizar las pozas de agua que se formaron a las entradas de los pasos en la temporada de lluvia, ricas en insectos, peces y larvas de anfibios.

Según Fahrig y Rytwinski (2009) las especies más vulnerables son aquellas que tienen una atracción hacia el camino, o aquellas que no lo evitan. En este estudio entre los anfibios, sólo el sapo marino se registró en la estación seca, es posible que al igual que los individuos del mismo grupo (*Bufo calamita*) sea atraído por los hábitats arenosos y abiertos, así como la evaporación del agua en la época seca a la entrada de los pasos (Stevens et ál. 2006). Además, el uso de las pozas al borde de las entradas por los anfibios concuerdan con la afirmación de Rodríguez et ál. (1996), quienes concluyen que el período de mayor activación de los anfibios coincide con la época en la cual los drenajes están inundados y aquellos que habitan en pozas cercanas a la carretera se arriesgan a cruzarla, siendo

⁶ Sáenz, J. 2011. Comentarios sobre la abundancia de especies en el ACG. (comunicación personal). Heredia, CR, Universidad Nacional, ICOMVIS.

vulnerables para morir sobre la carretera debido a su comportamiento migratorio entre humedales, ser inconspicuos y algunas veces de movimientos lentos (Trombulak y Frissel 2000). También para esta época se registraron tortugas de tierra, aunque en menor número, debido a que las tortugas muchas veces cruzan los pasos de fauna sumergidas o arrastradas por la corriente de agua que atraviesa por los pasos de fauna, por lo tanto, resulta casi imposible para las cámaras fotografiarlas la mayoría de las veces.

No se encontraron diferencias entre la ocurrencia de cruces entre estaciones, hay una leve diferencia en proporción de cruces entre la estación seca (promedio =6.2) y lluviosa (promedio =4.36), y se debe posiblemente a que los pasos de fauna redondos y elípticos (medianos a pequeños) en la época de lluvia llegan a tener un caudal que obstruye la entrada de dichos pasos, disminuyendo así, la presencia de ciertos reptiles. Tortugas, anfibios, peces y crustáceos ocurrieron en pasos inundados y, pueden estar sirviendo de alimento a mapaches (*Procyon lotor*) especie no registrada en el verano. Sobre lo anterior se puede concluir que la estación lluviosa tiene más influencia sobre la composición de registros, que la forma, tamaño, condición, etc. del paso de fauna. Otro ejemplo, del efecto de las lluvias se observó en los pasos de fauna de tipo “cajón”, aunque no mantenía más nivel de agua que pasos pequeños, el caudal en estos pasos no fue alto con respecto a la altura del paso, pero se mantuvieron grandes y profundas pozas de agua a sus entradas, factor que disminuía la capacidad de acceso de cierta especies.

Grilo et ál. (2008) encontraron relaciones positivas entre la tasa de cruce de ciertos carnívoros y el tamaño de las estructuras, mientras que Rodríguez et ál. (1997), no registraron diferencias marcadas por este atributo; las diferencias pueden deberse al tamaño de las estructuras en cada estudio, (diferencia entre los 0.20 y 4.5 m). Rodríguez et ál. (1996), encontraron que el ancho de las alcantarillas (2 m) está relacionado con tasas altas de cruce. En términos prácticos, sabemos que dentro de un parque nacional el objetivo de manejo es conservar y reducir el riesgo de atropellos de la mayor cantidad de especies y, en especial de aquellas con tasas reproductivas bajas, en peligro extinción, etc. Tomando en cuenta la ocurrencia de individuos y especies por tipo de paso, se deduce que los pasos de fauna de mayor tamaño aportarían mayores beneficios al disminuir el riesgo de atropellamiento de especies grandes con bajas densidades poblacionales. Sin embargo, el contexto de ingeniería y, la relación que se pueda encontrar con la conexión de hábitats a nivel del paisaje son otros de los factores que hay que tener en cuenta para concluir que los pasos de mayor tamaño son más o menos eficientes que otros.

Al parecer, los armadillos y el zorro norteño, concentran sus tasas de mortalidad en tres zonas particulares sobre el área de estudio (puntos calientes de mortalidad). Dood et ál. (2004) también registraron para el armadillo de nueve bandas y el zorro norteño las tasas más altas de mortalidad entre

los mamíferos de mediano tamaño, lo que supone que, estas especies independientemente del volumen del tránsito o paisaje asociado, presentan factores físicos que les impide librar un vehículo con facilidad, a diferencia de otras especies que, en estudios previos de Sáenz (datos sin publicar) mueren en forma más dispersa sobre la Carretera Interamericana y sin concentrar puntos de alta mortalidad.

La relación entre el número de mamíferos usando los pasos de fauna y la distancia de estos a los tres puntos de mayor mortalidad por atropellos, solo mostró que los pasos de fauna (pasos al sur de la carretera) permiten mayor cruce de mamíferos medianos a medida que la distancia con el punto de mortalidad aumenta. La correlación negativa entre el punto de mortalidad (punto sur) y el número de mamíferos usando los pasos en el área norte del tramo de la carretera, indica que los pasos del extremo norte no serían un medio de reducción de colisiones, y sugieren que más que una relación con los puntos de mortalidad, los pasos de fauna tienen una influencia, probablemente asociada al paisaje, que permite una mayor frecuencia de cruces de mamíferos medianos entre los pasos 1 a 6.

La actividad nocturna del ocelote estuvo vinculada a la luna menguante y creciente, al igual que los roedores (tezpecuntile), zorros pelones (*Didelphis virginiana*, *D. marsupialis*) y armadillos (*Dasypus novemcinctus*), todas estas especies según Wainwright (2007) han sido registradas como presas del ocelote, lo que supone que en estas fases de la luna se presenta una relación predador – presa. Este aspecto es ratificado por Emmons (1988), quién señala que el ocelote varía su estrategia de caza de acuerdo al ciclo lunar, coincidiendo la actividad de roedores y ocelotes en áreas no abiertas en noches de luna. Otros estudios describen el uso de caminos (dentro del bosque) por felinos correlacionados positivamente con las capturas de zarigüeyas (Harmsen et ál. 2010).

Los pizotes y guatusas comparten igual actividad entre las lunas creciente, menguante y llena, es posible que los cruces nocturnos de estas especies fueran registros casuales fuera de los períodos de actividad normal de las especies. La guatusa tuvo cuatro registros nocturnos, dos de ellos al inicio del anochecer (18:00 horas), y los dos restantes entre las 00:00 y 02:00 horas. Sin embargo, los períodos de alto cruce de guatusas fueron en horas del día (60% entre las 05:00 y 10:00 de la mañana, y 30% entre las 13:00 y 18:00 horas). Aliaga-Rossel (2004) indica que esta especie retorna a su guarida cuando la luz es escasa (18:00 horas) y concluye con toda actividad a las 19:00 horas, actividades tardías reportadas para la especie se dan en períodos de escasez de alimentos y bajo luna llena. De igual manera, los pizotes, son animales diurnos con ligera actividad en el amanecer y en el crepúsculo (05:00 a 17:00 horas), pero la especie fue registrada tres veces en la noche entre las 18:00 y 04:00 horas, siempre en el mismo paso y al parecer para acceder a su dormitorio temporal.

Beier et ál. (1990), no detectaron una influencia marcada por la fase lunar en el uso de hábitat del venado de cola blanca, y Newhouse's (1973), señala que la única influencia de la luna sobre el venado, es que en luna llena el venado no reduce su actividad sino tiende a usar hábitats cerrados. Por

otro lado D'Angelo et ál. (2008), indican que los ojos del venado de cola blanca son especializados para funcionar en una variedad de hábitats y condiciones de luz, como otros cérvidos tiene visión mejorada para vigilar zonas amplias. En el presente estudio, más que una influencia de la luna, el hecho de que el venado de cola blanca presente actividad en noches de luna no se relaciona necesariamente como influencia de esta, sino parte del riesgo de depredación que la especie tiene al realizar sus actividades de forrajeo.

En Costa Rica, de acuerdo a la ley de tránsito por vías públicas y terrestres, los niveles de ruido permisibles procedentes del escape y dispositivos sonoros se clasifican de acuerdo al peso del vehículo y oscilan entre 96 dBA para los vehículos livianos hasta los 118 dBA para vehículos pesados (SINALEVI 1993). Los vehículos pesados (de carga) generan mayor ruido y vibraciones que un vehículo liviano y, transitan en las primeras horas de la mañana, por lo que a pesar del menor número de vehículos se mantiene el nivel de ruido. Los conteos de tráfico entre las 8:30 y 9:30 am aumentan debido a que en estas horas la circulación también lo hace con los vehículos livianos cuyo destino principal es la localidad “La Cruz y/o Peñas Blancas” (frontera norte). Considerando este dato, se puede asumir que existe una relación directa del ruido con el número de vehículos cruzando sobre la carretera, en especial en las horas de la mañana y tarde, por lo tanto se asume que, a mayor número de vehículos se genera mayor ruido sobre la Carretera Interamericana.

Al comparar el valor del tránsito promedio diario del tramo de la Carretera Interamericana en estudio (TPD =1190 vehículos/día) con los valores que Seiler (2003), este se ubica en el primer nivel (< 2500 vehículos por día), y es considerado bajo. De acuerdo a Seiler (2003) con un valor TPD bajo, la proporción de las tasas de mortalidad es también relativamente baja, así como el número de animales que se resisten acercarse a la carretera. Sin embargo, la futura ampliación de la Carretera Interamericana Norte a cuatro carriles le daría el doble de capacidad para acoger vehículos y a la vez multiplicar los efectos actuales sobre la vida silvestre. De acuerdo a lo anterior, y al igual que Reijnen et ál. (1997) se considera al volumen del tráfico (TPD) como buen estimador de los niveles de ruido en la carretera y de la posible perturbación e impacto que esta variable (ruido) pueda generar en la fauna de vertebrados.

La ocurrencia de las especies más abundantes respondió a los patrones de actividad esperados, el tepezcuintle y ocelote mantuvieron un patrón de cruce de los pasos en horas de la noche. El pizote no relacionó el patrón de registros con el ruido y temperatura, mantuvo su actividad de 09:00 a 20:00 horas. El patrón de actividad del garrobo se dio a lo largo de todo el día, principalmente en horas de mayor temperatura en donde el registro del resto de especies disminuye. La guatusa, con un patrón principalmente diurno concentró su actividad en horas de la mañana y atardecer y, fue la única especie que registró igual número de registros en el invierno (n=57) y verano (n=57) y con la cual se pudo

identificar variación en el patrón de actividad o en el caso de este estudio del uso de las estructuras con el ruido ($r = -0.73$).

La varianza (inercia) explicada por el ruido asume que las especies pese a considerarse como especies habituadas a los efectos de perturbación de la carretera, pueden presentar reacciones al ruido y temperatura, lo que además puede confundirse con los patrones de actividad y requerimientos de las especies (en forma particular con la temperatura los mamíferos nocturnos y los reptiles). El patrón de actividad de la especie con mayor ocurrencia de este estudio (guatusa) es semejante a los resultados de Gómez et ál. (2005). Además en forma específica, Aliaga-Rossel (2004) indica que la actividad de las guatusas entre estaciones puede verse levemente disminuida en horas de mayor temperatura, lo que concuerda con el patrón de actividad encontrado, la guatusa prefirió aumentar la frecuencia de ocurrencia en horas vespertinas en lugar que a media mañana o medio día en donde la temperatura es mayor en la época seca.

En el ACG, el TPD sobre la Carretera Interamericana es de 1190 vehículos / día, y el nivel de ruido promedio de 51.6 dBA. Barber et ál. (2010) encontraron en su modelo de ruido en un área protegida que un Tránsito promedio diario (TPD) de 3700 vehículos / día puede alcanzar 41.8 dBA a 500 m de distancia de la carretera y 37.5 dBA a 1 km. Aunque el TPD descrito por Barber et ál. (2010) sobrepasa con más del doble al TPD registrado en la Carretera Interamericana, el conteo de especies / hora, mantuvo un patrón inverso al nivel de ruido (hora), lo que indica que las especies se acercan a la carretera y hacen uso de los pasos de fauna cuando los niveles de ruido disminuyen.

Lo anterior es explicado por el efecto barrera producido por la carretera y a la vez por los rangos de tolerancia que las especies presenten frente a factores de perturbación. Forman et ál. (2002) presentaron evidencia de que el ruido producido por vehículos tiene impactos sobre la densidad de aves entre 120 m a 1.2 km, otros estudios indican que las poblaciones de mamíferos declinan hasta 5 km de distancia de la carretera (Benítez-Lopez et ál. 2010). Seiler (2003) señala que el efecto barrera de la carretera (ruido, emisiones) aumenta a medida que aumenta el volumen del tráfico, de esta manera la proporción de fauna acercándose a la carretera se correlaciona en forma negativa con este aumento, reduciendo en un momento en forma significativa la mortalidad en la carretera como los cruces exitosos a través de los pasos de fauna.

La variación en la temperatura en el interior y exterior de los pasos de fauna, con diferencias de 1°C entre las 19:00 y 07:00 horas (mayores en los pasos de fauna), y hasta 2.4°C entre las 07:00 y 18:00 horas (menores en los pasos de fauna), posiblemente se debe al tamaño, material, dirección de los vientos y la orientación de los pasos (este-oeste) en relación a la caída de los rayos del sol sobre las entradas, esto hace de los pasos de fauna estructuras frescas en el día y hábitats abrigados en la noche. Este factor apoya la idea de que los pasos de fauna pueden ser medios de protección y reposo de ciertas

especies como lo propone Ascensão y Mira (2006). En relación a lo anterior, en los pasos de fauna del ACG, en el verano, varias guatusas fueron fotografiadas en medio de los pasos, reposando cuando la temperatura fuera del paso se aproximaba a los 34°C.

3.5 CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL MANEJO

Los 15 pasos de fauna ubicados bajo la Carretera Interamericana que cruza el ACG, sirven como pasos de vertebrados terrestres, sin embargo, las estructuras de mayor tamaño (3 m) fueron las únicas de utilidad para mamíferos grandes y a la vez permitieron el paso de la mayoría de especies de tamaño menor. Estas estructuras no planificadas para la fauna, actualmente están sirviendo de pasos de fauna en mayor porcentaje para los mamíferos y, entre este grupo a los de tamaño mediano, lo que incluye a carnívoros y roedores grandes entre los más abundantes. Esto significa que los pasos de fauna están inmersos en medio de una dinámica del paisaje de especies predadores y presas, carismáticas para la conservación y con mayor afección por la degradación de hábitats como el caso de los carnívoros y en particular el ocelote, especie que al igual que otros félidos según Janzen (1986) tiene una alta amenaza de conservación debido a la fragmentación de hábitat.

La especie más abundante fue la guatusa, especie más habituada a ocupar los pasos de fauna, lo que podría restar la preocupación por la especie frente a eventos de perturbación por la carretera. Por otro lado, esta especie está manteniendo los procesos de dispersión de semillas entre el Parque Nacional Santa Rosa y Guanacaste ya que se la observó moviendo semillas de un lado de la carretera a otro. La ocurrencia del ocelote por los pasos de fauna fue relativamente alta, lo que significa que especies vulnerables a cambios en el ambiente aún encuentran oportunidad de establecer su ámbito de hogar en hábitats alterados por una carretera. Sin embargo, no se debe olvidar que el hábitat original del ACG, el bosque seco se encuentra bajo un largo proceso de regeneración y, sobre todo de conservación, lo que haría posible la existencia de poblaciones de fauna asentadas al borde de la carretera, a las cuales la perturbación actual originada sobre la carretera no está afectando con la intensidad que a otras especies que no fueron registradas o vistas al margen de la misma.

Las tasas de cruce en la época de lluvias, podrían optimizarse a través de modificaciones menores a los pasos de fauna, en especial en los pasos de mayor tamaño en los cuales hasta podrían contener pasarelas internas para el cruce de fauna y a la vez, permitan el paso del agua. Clevenger y Huijner (2011), describen que drenajes que se inundan estacionalmente, como el caso de los pasos de fauna en la Carretera Interamericana, pueden ser adecuados para el cruce de fauna a través de plataformas o puentes colocados a uno de los lados interiores del drenaje (óptimos en drenajes de tipo cajón en el ACG). Con el resto de pasos, modificaciones menores del hábitat en sus entradas podrían

evitar que la acumulación de agua (estancada) obstruya el ingreso de individuos. Por ejemplo, si tiene lugar un pequeño movimiento de tierra que elimine pozas de agua en el acceso de los pasos, pero que a la vez permita la formación de charcas para la reproducción de anfibios (tomados como aporte de conservación de anfibios y fuentes de alimento de otras especies) posiblemente sería una medida que aporte con el cruce de más especies ocupando los pasos en la época de lluvia y para que otras, tengan mayor probabilidad de mantener sus tasas de cruce en esta época.

En un contexto multi-especies, los pasos de tipo cajón permiten el cruce de un mayor número de especies, e incluyen individuos de diferentes tamaños, desde roedores hasta los grandes mamíferos, lo que significaría que este tipo de paso sería la mejor elección, si se quieren hacer adecuaciones a la carretera y si los objetivos de conservación del ACG orientan sus esfuerzos sobre el contexto multi-especies. Lo anterior, no resta valor a los pasos de menor tamaño localizados en el área de estudio, las estructuras de 0.9 m, aunque no con igual diversidad de especies que las de tipo cajón, también facilitan el cruce de roedores grandes, zarigüeyas y carnívoros como el ocelote o yaguarundi. Posiblemente, una de las medidas más fáciles y con menor costo para mejorar la permeabilidad de la carretera al momento de su ampliación, sería reemplazar los pasos de 0.6 m por otros de al menos 0.9 m; considerando igualmente que los pasos pequeños (0.6 m) a más de tener bajas tasas de cruce son los únicos que llegan a colapsarse de agua con las primeras lluvias.

Aunque las especies registradas en este estudio pueden considerarse habituadas a las perturbaciones de la carretera, al parecer han tenido que adaptarse a ciertas condiciones, como la guatusa que varía su frecuencia de cruce (hora) de acuerdo a las variaciones de ruido y temperatura. Este factor estaría indicando que a medida que las perturbaciones en la carretera cambien, también podrían presentarse cambios en el comportamiento de las especies e inclusive la composición y abundancia de especies detectada en los pasos de fauna en los alrededores de la carretera.

No se puede concluir que tipo de paso de fauna es más efectivo que otro, con tan solo describir la ocurrencia de registros de cruce exitoso, sino que se debe estudiar la influencia de la forma, tamaño, tipo de construcción y ubicación del paso de fauna sobre el número de especies e individuos que cruzan dichos pasos. También, es de suma importancia saber qué papel juegan los atributos del paisaje sobre el uso de los pasos de fauna por especies de vertebrados silvestres y, por último los efectos de perturbación (tráfico, contaminación, ruido) para comprender mejor la dinámica paso de fauna-paisaje.

3.6 LITERATURA CITADA

ACG, CR. 2008. Área de Conservación Guanacaste homepage (en línea). San José, CR. Consultado nov. 1 2010. Disponible en: http://www.acguanacaste.ac.cr/1999/frame_que_es_acg.html

- Aliaga-Rossel, E. 2004. Landscape use, ecology and *home range* of the agouti (*Dasyprocta punctata*). A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Science Degree. State University of New York. College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, New York.
- Aliaga-Rossel, E; Morena, R; Kays, R; Giacalone, J. 2006. Ocelot (*Leopardus pardalis*) predation on agouti (*Dasyprocta punctata*). BIOTROPICA 38(5):691-694.
- Ascensão, F; Mira, A. 2006. Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. Ecological Research 22(1)57:66.
- Barber, J; Burdett, C; Reed, S; Warner, K; Formichella, C; Crooks, K; Theobald, D; Fristrup, K. 2010. Anthropogenic noise exposure in protected natural areas estimating the scale of ecological consequences. Landscape. Ecol. 26:1281-1295.
- Bautista, L; García, J; Calmaestra, R; Palacín, C; Martín, C; Morales, M; Bonal, R; Viñuela, J. 2004. Effects of weekend road traffic on the use of space by raptors. Conservation Biology 18(3)726-732.
- Beckman, J; Clevenger, A; Huijser, M; Hilty J. (eds.) 2010. Safe passages highways, wildlife, and habitat connectivity. Island Press. Washington DC. 396p.
- Beier, P; McCullough, D. 1990. Factors influencing White-tailed deer activity patterns and habitat use. Wildl. Monogr. 109:1-51.
- Benítez-López, A; Alkemade, R; Verweij, P. 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: a meta-analysis. Biol. Conserv. 143:1307-1316.
- Clevenger, A; Huijser, M. 2011. Wildlife crossing structure handbook design and evaluation in North America. Technical report No. FHWA-CFL/TD-11-003. Western Transportation Institute. Bozeman – United States of America. 223 p.
- Corlatti, L; Hackländer, K; Frey-Roos, F. 2009. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. Conservation Biology 23(3)548-556.
- D'Angelo, G; Glasser, A; Wendt, M; Williams, G; Osborn, A; Gallagher, J; Warren, J; Miller, V; Pardue, T. 2008. Visual specialization of an herbivore prey species, the white-tailed deer. Can. J. Zool. 86:735-743.

- Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, M.G; Gonzalez, L; Cuadroda, M; Robledo, C.W. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dood, K; Barichivich, W; Smith, L. 2004. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily travelled highway in Florida. *Biol. Conserv.* 121:453-464.
- Emmons, L. H; 1988. A field study of ocelots (*Felis pardalis*) in Perú. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* 43:133-57.
- Fahrig, L; Rytwinski, T. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society.* 14(1) 21.
- Forman R. Reineking, B; Hersperger, A. 2002. Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environ. Manage.* 29:782-800.
- Forman, R; Sperling, D; Bissonette, J; Clevenger, A; Cutshall, C; Dale, V; Fahrig, L; France, R; Goldman, C; Heanue, J; Jones, J; Swanson, F; Turrentine, T; Winter, T. 2003. Road ecology science and solutions. Washington DC. 481p.
- Garrigues, R; Dean, R. 1997. The birds of Costa Rica, A field guide. Cornell University Press. New York. 387p.
- Gibbs, J; Shriver, W.G. 2002. Estimating the effects to restore of road mortality on turtle populations. *Conservation Biology* 16:1647-1652.
- Gómez, H; Wallace, B; Ayala, G; Tejada, R; 2005. Dry season activities periods of some Amazonian mammals. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 40(2):91-95.
- Grilo, C; Bissonette, J; Santos-Reis, M. 2008. Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: implications for road planning and mitigation. *Biodiversity and Conservation* 17(7)1685-1699.
- Harmsen, B; Foster, R; Silver, S; Ostro, L; Doncaster, P. 2010. Differential use of trails by forest mammals and the implications for camera – trap studies: A case study from Belize. *Biotropica* 42(1):126-133.
- IMN. 2011. Temperatura (enero-agosto 2011) de la estación meteorológica Santa Elena. Instituto Meteorológico Nacional. San José, CR.

- Janzen D. 1986. Parque Nacional Guanacaste. Restauración ecológica y cultural en el trópico. San José. CR. 117p.
- Janzen, D. (ed). 1991. Historia Natural de Costa Rica. Traductor Manuel Chavarría. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, CR. 822p.
- Leiva, J; Rocha, J; Mata, R; Gutierrez-Soto, M. 2009. Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. Rev. Biol. Trop. 57 (3):817-836.
- Mendes, S; Colino-Rabanal, V. J; y Peris, S. J. 2011. Bird song variations along an urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*). Landscape and Urban Planning, 99(1),51-57.
- Morales, J; Peris; Pedraza, E. 2000. Utilización de pasos específicos de fauna y mortandad asociada en un canal de los páramos del norte de España (Guardo, Palencia). Galemys 12(1) 25-40.
- Ng, S; Dole, J; Sauvajot, R; Riley, S; Valone, T. 2004. Use of highway undercrossing by wildlife in southern California. Biological Conservation 115(3)499-507.
- Newhouse, S. 1973. Effects of weather on behavior of white-tailed deer of the George Reserve, Michigan. M.S. Thesis, Univ. Michigan, Ann Arbor. 154pp.
- Reijnen, R; Veenbass, G; Foppen, R. 1995. Predicting the effects of motorway traffic on breeding bird populations. DLO Ins. For Nat. Res. Ministry Transp. Public Works, Delft, The Netherlands. 92p.
- Reijnen, R; Foppen, R; Meeuwsen, H. 1996 ^a. The effects of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grasslands. Biol. Conserv. 75:255-60
- Reijnen, R; Foppen, R; ter Braak, C; Thissen, J. 1996 ^b. The effect of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. J. Appl. Ecol. 32:187-202
- Reijnen, R; Veenbass, G; Foppen, R; 1997. Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations in planning and managing road corridors. Biodiversity and Conservation 6:567-581.
- Rodríguez, A; Crema, G; Delibes, M. 1996. Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. Journal of Applied Ecology 33(6):1527-1540.

- Rodríguez, A; Crema, G; Delibes, M. 1997. Factors affecting crossing of red foxes and wildcats through non-wildlife passages across a high-speed railway. *Ecography* 20:287-294.
- Ruediger, B; DiGiorgio, M. 2007. Safe passage A user's guide to developing effective highway crossings for carnivores and other wildlife. Southern Rockies Ecosystem Project. 20p.
- Sáenz, J. datos sin publicar. Informe técnico. Mortalidad de fauna vertebrada en la carretera Interamericana Norte. Área de Conservación Guanacaste. CR.
- SINALEVI. 1993. Sistema nacional de legislación vigente. Ley de tránsito por vías públicas y terrestres. Número 7331 de 13 de abril de 1993 y sus reformas. Título IV. Capítulo I. Prohibiciones. Artículo 121. San José, CR. 57p.
- Seiler, A. 2003. The toll of the automobile: Wildlife and roads in Sweden. Department of Conservation Biology. Doctoral thesis. Swedish University of agricultural sciences. Uppsala. 48p.
- Stevens, V; Smith, L; Conner, L; Brock, J; Hoss, S. 2006. Quantifying functional connectivity: experimental assessment of boundary permeability for the natter jack toad (*Bufo calamita*). *Oecología* 150:161-171.
- Trombulak, S; Frissell, C. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* 14:18-30.
- Wainwright, M. 2007. The mammals of Costa Rica. A natural history and field guide. Cornell University Press. 454p.
- White G. y K. Burnham. 1999. Program MARK: Survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* (46):120-138.
- Yáñez, M; Velasco, J.M; and Suarez, F. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates the importance of culverts - *Biol. Conservation* 71:217-222.

4 ARTÍCULO 2. FACTORES QUE AFECTAN EL USO DE PASOS DE FAUNA POR VERTEBRADOS TERRESTRES EN LA CARRETERA QUE CRUZA EL ÁREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE, COSTA RICA

RESUMEN

Se describe el uso de 15 estructuras ubicadas bajo la Carretera Interamericana como pasos no específicos de vertebrados terrestres (pasos de fauna), a través de características asociadas a las estructura de los pasos, paisaje circundante y a variables de perturbación relacionadas con los pasos de fauna y la carretera. Se registraron 277 eventos (número de cruces) obtenidos mediante el uso de cámaras-trampa. La mayor parte de las ocurrencias fueron de mamíferos medianos, las especies con mayor frecuencia de cruce fueron la guatusa (*Dasyprocta punctata*, n=114), garrobo (*Ctenosaura similis*, n=22), pizote (*Nasua narica*, n=17), tepezcuintle (*Agouti paca*, n=12) y ocelote (*Leopardus pardalis*, n=11). Se usaron modelos lineales generalizados (GLM) para explicar la riqueza de especies cruzando por los pasos de fauna. El modelo conformado por las variables largo del paso, ruido al interior del paso, y distancia al paso más cercano (AICc=79.4, w=0.42), es el que mejor explicó la riqueza total de especies. Para la riqueza de mamíferos, el modelo incluyó a las variables largo del paso, bosque seco circundante y distancia al paso de fauna más cercano (AICc=68.4, w=0.33). El ruido y la cobertura explicaron la riqueza de reptiles (AICc=40.3, w=0.47). Se obtuvieron modelos de ocupación de las especies más abundantes en base a la influencia de las variables cobertura vegetal, precipitación y temperatura. Para el garrobo, pizote y ocelote, el modelo se conformó por tres parámetros: $\psi(\text{COB}), \varepsilon(\text{PRE}), \rho(1)$; la ocurrencia (ψ) de la especie modelada por la cobertura, la probabilidad de extinción (ε) debida a la precipitación, y la probabilidad de detección (ρ). La guatusa y tepezcuintle presentaron un parámetro más, la probabilidad de colonización de los pasos de fauna (Υ). En el caso de la guatusa el modelo no presentó influencia de alguna covariable ($\psi, \Upsilon(1), \varepsilon(1), \rho(1)$), a diferencia del tepezcuintle que modeló la probabilidad de colonización en base a la temperatura y la probabilidad de extinción en relación a la cobertura vegetal ($\psi, \Upsilon(\text{TEM}), \varepsilon(\text{COB}), \rho(1)$).

Palabras Claves: pasos de fauna, Carretera Interamericana, vertebrados terrestres, bosque seco, variables estructurales, paisaje y perturbación, modelos de ocupación.

4.1 INTRODUCCIÓN

El terreno, tipo de hábitat, niveles de actividad humana y el clima, son algunos de los factores que influyen sobre el movimiento de la fauna silvestre y flujos ecológicos (Beckman et ál. 2010). Para que la fauna silvestre sea capaz de desplazarse a través de estructuras artificiales como pasos de fauna, puentes y caminos, se debe considerar también los factores relacionados con dichas estructuras. Muchos estudios determinan la selectividad de un animal por un paso de fauna en particular, y evalúan no solo el entorno o el paisaje asociado a los pasos de fauna, sino las variables del paso de fauna que aportan de forma directa al comportamiento del animal, para que este se atreva a cruzar sobre la carretera o prefiera los pasos de fauna para atravesarla.

En cuanto a la atracción que una determinada estructura pueda presentar para un animal, factores como la apertura del paso puede explicar mejor ese comportamiento. Clevenger et ál. (2011) indican que el análisis de la variable apertura del paso o también llamado índice de luminosidad, no es recomendable, porque esta métrica guarda correlación directa con las variables ancho, largo y alto del paso. Donalson et ál. (2007) resaltan la importancia del índice de apertura de los pasos de fauna, indicando que a pesar que los pasos de fauna de su estudio tuvieron las condiciones óptimas de hábitat, notaron una reducción en las tasas de cruce exitosas y un aumento en la indecisión y retorno de los venados una vez que llegaban a la entrada de los pasos de índices de apertura bajos (<0.19).

Entre las variables asociadas a los pasos de fauna, las métricas relacionadas al tamaño del paso, generalmente tienden a explicar el uso de determinada fauna, especies grandes requieren pasos de mayor tamaño que especies de tamaño corporal reducido. A nivel de riqueza de especies, los pasos de fauna con mayores tasas de cruce guardan una relación positiva con el ancho, lo que puede ser explicado por el hecho de que una estructura de mayor tamaño permite el paso tanto de animales grandes como pequeños. Donalson et ál. (2007) encontraron una alta correlación entre el cruce de venados y otras especies con estructuras de tamaño mayor o igual a 3.7 m de alto, a diferencia de otras de menor altura. Otros estudios registraron una relación inversa entre las tasas de cruce de carnívoros y el ancho de la infraestructura (Yáñez et ál. 1995). Estas diferencias pueden deberse a la variación en el rango que esta variable tenga en diferentes estudios y/o composición de especies y condición del paisaje de cada área de estudio.

Las variables de estructura de los pasos de fauna, si bien, son importantes para la elección por un animal para atravesarlo, es cuestionable su desempeño si el paso de fauna no está ubicado en un lugar que aporte conectividad estructural y posible permeabilidad a la carretera. Donalson et ál. (2007) señalan que, los atributos de localización y paisaje asociado a los pasos de fauna son más importantes

que los rasgos estructurales de los mismos, teniendo en cuenta que la topografía y los cursos de agua pueden influir sobre el movimiento animal a través de las estructuras, particularmente para los venados. En la misma línea, Grilo et ál. (2008) indican que los pasos de fauna grandes con vegetación cerrada, favorece la tasa de cruce de carnívoros debido a que la cubierta vegetal abundante aporta camuflaje a las estructuras y provee protección y seguridad para el cruce de carnívoros; por otro lado Foster y Humphrey (1995) asumen que los animales usan un paso debido a la visión horizontal no obstruida que puedan tener de este.

Rodríguez et ál. (1997) señalan que los carnívoros podrían indirectamente preferir grandes pasajes por selección de la cubierta vegetal, por otro lado, Ascensão y Mira (2006) encontraron que conejos, tejones, y lobos se ven favorecidos por pasos en áreas abiertas sin cobertura vegetal, por lo que Bissonette y Creamer (2008) concluyen que la cobertura en el paso y alrededores es importante para varias especies.

MacKenzie et ál. (2006), al considerar que la estructura de meta poblaciones envuelve un sistema de parches o sitios que son algunas veces ocupados por especies de interés y otras veces no, dependiendo de la dinámica de los procesos de extinción y colonización, y que las inferencias basadas en conteos puede clasificar a un sitio ocupado y no ocupado por determinada especie; desarrollaron modelos de ocupación basados en las historias de captura recaptura. La dinámica de la ocupación de parches puede ser descrita usando la tasa de cambio en la ocupación sobre el tiempo, siendo las tasas de vida, así como la probabilidad a nivel del parche de extinción y colonización los responsables de ese cambio. En este estudio, se usaron modelos de ocupación considerando a cada paso de fauna como un sitio de muestreo, se asumió que cada paso de fauna al tener iguales condiciones de muestreo a lo largo del estudio (cámara registrando el cruce de especies) la detectabilidad en cada paso debería ser la misma si es que otras condiciones del ambiente no actuaban como covariables sobre la detectabilidad, procesos de extinción (pérdida de registro de la especie) o colonización (llegada de la especie al paso).

Teniendo en cuenta que las variables de estructura del paso de fauna, hábitat y niveles de perturbación mantienen una dinámica propia en cada lugar con la composición de especies, es necesario caracterizar y evaluar la riqueza de especies conjuntamente con variables que influyen en el uso de pasos de fauna y/o selectividad, como las asociadas a los pasos de fauna y a otros factores fluctuantes en el tiempo para ser considerados en los modelos de ocupación.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue identificar la relación de las variables asociadas al paisaje, la perturbación y rasgos estructurales de los 15 pasos de fauna ubicados bajo la carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste con la riqueza de especies que atraviesa

estos pasos. Además de encontrar las variables que mejor explicaron la riqueza de especies que cruzan los pasos de fauna, en este estudio se consideró la variación debida a los cambios en la cobertura, precipitación y temperatura, como factores que influyen en los patrones de ocurrencia, colonización y extinción local de aquellas especies con tasas altas de cruce entre las estaciones seca y lluviosa entre los meses febrero a julio de 2011.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Área de estudio

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) se ubica en el Pacífico Noroeste de Costa Rica, incluye nueve zonas de vida entre la costa hasta los 1916 metros sobre el nivel del mar (msnm) en las estribaciones de la llanura caribeña. Tiene una extensión de 120,000 hectáreas de ecosistemas terrestres y 70,000 hectáreas marinas (ACG 2008). Según el sistema de Zonas de Vida de Holdridge el área pertenece al bosque seco tropical, tiene una temperatura promedio anual de 27°C y una precipitación promedio anual de 1250 mm; siendo los meses secos de noviembre a abril y los lluviosos de mayo a octubre (Leiva et ál. 2009).

El ACG se encuentra dividida por un segmento de la Carretera Interamericana, que separa a las áreas protegidas Guanacaste y Santa Rosa (Figura 2). Dentro de estos Parques Nacionales existen pequeñas carreteras de segundo orden que conectan las diferentes estaciones dentro del área protegida y, con excepción del acceso hasta Playa Naranjo todas son de uso restringido para efectos de control y administración del ACG. El ACG está rodeada de agropaisajes y pequeñas áreas rurales-urbanas, sin embargo, en el tramo de la carretera que biseca ambos parques, no existen poblados, tan solo asentamientos para el manejo y administración del ACG. El tramo de la Carretera Interamericana que divide al ACG posee dos carriles, uno en dirección Librería - La Cruz y otro en dirección opuesta, el ancho total de la carretera es 12 m, de los cuales ocho metros corresponden a la calzada pavimentada y con capa asfáltica y el resto al área denominada espaldón.

El área de estudio en donde se ubican los 15 pasos de fauna, se encuentran entre el kilómetro 265 y 277 de la Carretera Interamericana, dentro de un segmento de 12 km y una altitud de 279 msnm. Estas estructuras varían en su forma, material de construcción y longitud, así como también en el número de accesos en cada paso (hasta tres accesos de igual tamaño y forma). El material de las alcantarillas varía entre piezas de cemento prefabricado, hormigón armado y metal corrugado. En la Figura 10 se muestra la ubicación de los pasos a lo largo de la Carretera Interamericana, la distancia entre los pasos varía entre 147 m a 2240 m.

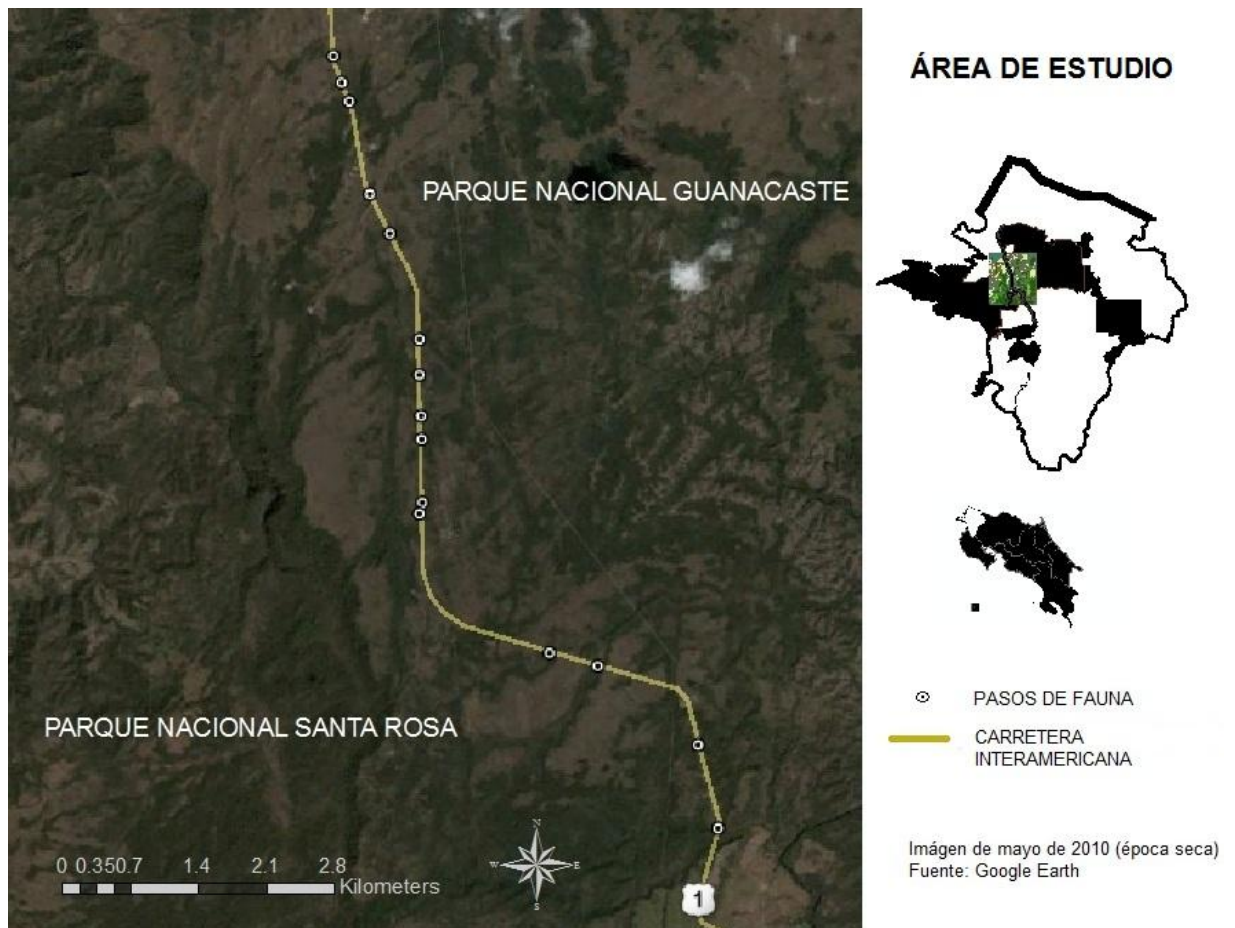


Figura 10. Área de estudio mostrando los 15 pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Los pasos de fauna se encuentran a lo largo de quebradas estacionales y drenajes de escorrentía, con pendientes de hasta 6 m de profundidad. Las quebradas se encuentran en medio de bosque ripario, y el resto de pasos en bosque seco con porciones de pastos, charrales y tacotales. El área inmediata a los paso de fauna mantiene cobertura vegetal que en muchos de los casos está conectada a la vegetación del otro lado de la carretera. A cada lado de la carretera se ubica el tendido eléctrico propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el mismo representa un sendero casi paralelo a la carretera (25 m en promedio), que además define los límites de cada Parque Nacional. En el caso de los pasos de fauna de mayor tamaño, este sendero hace evidente la ubicación de los drenajes a través de un área abierta que deja ver parte del curso de las quebradas. Para el caso de los

pasos de fauna de menor tamaño, la vegetación es más cerrada, por esta razón en la época lluviosa no son visibles desde la carretera.

Un factor a tener en cuenta es que el área de estudio, además de contar con cazadores que eventualmente transitan por los pasos de fauna o cerca de ellos, debido a la cercanía con la frontera con Nicaragua, existen pasos de fauna que son usados por personas viajando, es así que los pasos de fauna 7, 14, y 15 son considerados de paso y uso de los migrantes que transitan entre Nicaragua y Costa Rica. Es evidente que a diferencia del resto de pasos estos presentan mayor cantidad de desechos (envases de plásticos, papel, vidrio y metal) y mayor permanencia humana.

4.2.2 Métodos

Una cámara de disparo automático Stealth-Cam o Scout Guard equipada con sensores infrarrojos y de movimiento fue colocada en una de las entradas de cada paso de fauna de tal forma que, el ángulo de captura (foto) se orientó para fotografiar desde vertebrados pequeños (ratones) hasta grandes mamíferos (venados). Las cámaras registraron datos en forma continua entre los meses febrero a julio de 2011, correspondientes a tres meses de la época seca (febrero, marzo y abril) y tres de la época de lluvia (mayo, junio y julio). Cada 10 días se descargó los registros fotográficos e inspeccionó el nivel de carga de las baterías. Este periodo fue considerado como un evento de foto-captura. En total durante todo el estudio se tuvo 12 eventos de foto-captura.

Para evitar pseudo-replicaciones de los registros y garantizar la independencia de los datos de especies e individuos, se asumió que hubo independencia entre un registro y otro después de 6 horas, de esta manera si una especie fue identificada en las primeras 6 horas del día y también en el segundo bloque de 6 horas se tomó como registro independiente al primero, de igual manera se procedió con los dos bloques (6 horas c/u) restantes a lo largo de cada día de muestreo. Las 6 horas propuestas están basadas en la experiencia de trabajos de ecología de movimiento de varias especies de vertebrados medianos y grandes como venados, saínos, pizotes, mapaches y felinos, mediante análisis de datos de radiotelemetría (Sáenz, com. pers.⁷).

Para conocer cuáles son los factores (variables) que afectan el uso de los pasos de fauna se consideró tres tipos de variables: a) variables estructurales (propias a características físicas del paso, incluyendo microclima), b) variables asociadas al paisaje inmediato (características de la cobertura vegetal adyacente) y c) variables de perturbación (considerando como perturbación a la influencia

⁷ Sáenz, J. 2010. Pseudo-réplicas con registros fotográficos (correo electrónico). Heredia, CR, Universidad Nacional, ICOMVIS.

humana). En un inicio se consideró 18 variables, sin embargo para eliminar efectos de multicolinealidad se identificó a las variables con un $r > 0.75$ (Clevenger et ál. 2001), las cuales no fueron consideradas bajo análisis, se eliminó a las variables altura del paso, caída inicial del paso, cobertura vegetal sobre la carretera y área basal. Las 14 variables objeto de análisis en este estudio se describen en el Cuadro 4.

La temperatura fue medida a través de un medidor LogTag modelo Trex-8 en cada uno de los pasos; este, a lo largo de dos meses (abril y junio) registró la temperatura interior de los pasos con intervalos de 30 minutos. Con los 2882 registros de temperatura se obtuvo el promedio de la temperatura para cada paso.

Para el registro de las variables cercanas al paso de fauna (cobertura, obstrucción horizontal), se establecieron dos transectos perpendiculares a la carretera y a cada lado del paso, cada uno de ellos con un largo de 25 m, el ancho del transecto fue igual al del cruce de fauna (incluyendo muros de contención). Las variables obstrucción horizontal y cobertura vegetal fueron medidas cada 15 días, la primera desde el punto final del transecto (25 metros de la entrada), con ello, se representó la visibilidad del paso desde este punto a través del porcentaje cubierto por la vegetación intermedia. La cobertura del dosel fue medida con un densiómetro cada 5 m a partir de la entrada del drenaje. Para cada paso se obtuvo un promedio de estas variables por cada evento de foto – captura (cada 15 días).

La variable de paisaje distancia al corredor más cercano se midió sobre una imagen satelital de mayo de 2010 disponible en Google Earth (2011). Teniendo en cuenta que el hábitat original de la zona de estudio es el bosque seco, se consideró que a mayor área de este ecosistema mayor conservación y conectividad estructural tendrá el área alrededor del paso. La variable área de bosque seco (ha) se obtuvo del análisis de parches realizado sobre un área buffer de 2.5 km de radio sobre cada paso de fauna. El análisis se realizó con ArcMap 9.3 (ESRI 2011) sobre un mapa de usos del suelo escala 1:40000, proporcionado por el ICOMVIS (Universidad Nacional), y realizado en base a una imagen Landsat (30 m de resolución) de abril de 2011.

La obstrucción hídrica en este estudio se refiere a la formación de charcos de agua en las entradas de los pasos de fauna, muy comunes en época de lluvias y que impiden el acceso de cierta fauna terrestre a los pasos de fauna. De acuerdo al programa fluvial de Massachusetts (Singler y Graber 2005) la acumulación de agua en pozas o charcos fuera de los drenajes se debe a que las estructuras fueron subdimensionadas o sobre elevadas en relación al nivel del suelo. De esta manera, el agua que cae con mayor intensidad en épocas de lluvia tiende a cavar y erosionar la tierra al borde de las entradas de las alcantarillas formando pozas que estancan el agua. La obstrucción hídrica fue

considerada de importancia cuando las lluvias fueron abundantes y la acumulación de agua y formación de pozas a la entrada de los pasos bloqueó el posible ingreso de animales. El número total de días en que los pasos fueron registrados como obstruidos fue dividido por 180 (número de días operativos), obteniendo una tasa de obstrucción por paso.

Para la variable ruido, se obtuvo un promedio de los registros obtenidos cada 5 segundos a lo largo de 10 minutos (120 mediciones) en cada paso dentro de un mismo día de muestreo y entre horas de ruido homogéneo (8:00 a 11:00). Las distancias al paso más cercano fueron calculadas a través de ArcMap 9.3 (ESRI 2011). Finalmente la tasa de visita humana (hombre / mes) fue obtenida de la suma total de registros fotográficos de hombres atravesando los drenajes y dividida para 6 (número total de meses de muestreo). La variable distancia al punto de alta mortalidad fue obtenida de estudios previos en la zona realizados por Sáenz (datos sin publicar).

Las variables de respuesta fueron, la riqueza de especies agrupada según: la riqueza total de especies (incluidos todos los grupos presentes dentro de la composición de especies usuaria de los pasos de fauna, aves, anfibios, reptiles y mamíferos), y la riqueza de especies para los grupos mamíferos y reptiles. Debido al escaso número de especies y ocurrencias en los pasos de fauna los anfibios y aves fueron excluidos del análisis. En todos los casos, los atributos estructurales de los pasos de fauna, de paisaje y perturbación fueron relacionados con la riqueza de especies a través de un análisis de regresión lineal, utilizando modelos lineales generalizados (GLM) bajo la distribución de *Poisson* y función de enlace *log* y el paquete estadístico R-Project versión 2.8.1 (R Development Core Team 2008).

Cada variable de respuesta (riqueza total, riqueza de mamíferos, y riqueza de reptiles) tuvo cuatro modelos que explicaron la relación entre las variables. Los primeros tres corresponden a la clasificación por tipo de atributo (variables de estructura del paso, paisaje y perturbación humana) y el cuarto a la combinación de variables contenidas en las tres anteriores. Para los mamíferos se añadió la variable distancia a puntos calientes de atropello de mamíferos medianos. La estructura de los modelos obedeció la agrupación del menor número de variables hasta el máximo posible. Para escoger los modelos que mejor explican el número de especies que cruzan la carretera por los pasos de fauna, se usó el Criterio de Información de *Akaike* (AIC) con una corrección para muestras pequeñas (AICc).

Cuadro 4. Variables estructurales, paisaje y perturbación asociados a los pasos de fauna de vertebrados, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Alcantarilla:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	□□□	□	□	□	○	○	ΘΘ	ooo	o	□	oo	○	□	Θ	ΘΘ
Atributos estructurales															
Ancho (m)	3.05	2.44	3.05	3.05	0.88	0.9	1.51	0.6	0.62	3.05	0.6	1.18	2.46	1.28	1.48
Largo (m)	26.6	22.2	16.8	17.54	15.86	16.94	20.35	14	14	13.35	15.5	20.15	13.6	16.5	20.47
Profundidad desde la carretera (m)*	3.43	2.05	1.48	1.18	0.63	0.85	0.82	1.5	2.4	0.95	1.8	0.7	0.56	1.4	0.95
Temperatura	26.7	26.8	26.6	26.6	27.4	27.1	26.7	26.6	26.6	26.9	27.7	27.8	26.9	26.9	28.1
Atributos del paisaje															
Distancia al paso más cercano	1000	1000	590	590	140	140	270	270	420	420	530	530	240	240	357
Área de bosque seco (ha)	1190.14	1092.06	1266.18	1224.28	1013.59	1001.52	945.5	910.48	856.93	822.63	683.67	683.67	512	450.91	397.98
Obstrucción horizontal (%) ^o	20	56	49.5	54	41.5	26.5	31.5	59	51	36.5	55.5	57	19	45	55
Cobertura vegetal (%) ^{oo}	83	84	72	75	82	74	68	86	69	71	73	66	74	71	61
Atributos de perturbación															
Ruido (dBA)	46	46	45	46	44	43	45	44	44	43	44	44	45	45	45
Distancia al punto caliente más cercano (m) +	1000	1000	599	599	147	147	274	274	420	420	524	524	237	237	357
Obstrucción hídrica (%)++	8	0	17	17	17	17	17	17	17	33	17	25	17	17	17
Tasa de visita humana (hombre – mes)	0.83	0.17	0.17	0.33	0	0.17	1	0	0.17	0.33	0	0	0.33	0.5	1.5

□ Cajón ○ Redondos Θ Elípticos

*Tomada desde la superficie de la carretera hasta el inicio del paso de fauna (borde superior)

^o Porcentaje visible de la entrada del paso, visto 25 m frente a él.

^{oo} Tomada a través de un densímetro

+ Puntos de atropello de mamíferos medianos definidos en estudios previos.

++Porcentaje de la entrada del paso cubierto por agua lluvia

Asumiendo que la probabilidad de detección de las especies fue igual en cada uno de los pasos de fauna, y que la ocurrencia de las especies cruzando por ellos pudo verse afectada por variables ambientales, se podría definir una posible colonización de los pasos de fauna o extinción de ciertas especies a través del tiempo. En este estudio se entiende por extinción a la probabilidad de ausencia de una especie en los pasos de fauna y por colonización a la probabilidad de que una especie “extinguida” reaparezca en los pasos de fauna. Se estimaron modelos de ocupación de las especies de mayor registro, es así que, con el historial de detección de la guatusa (n=114), garrobo (n=22), pizote (n=17), tepezcuintle (n=12) y ocelote (n=11) se realizaron modelos de ocupación de *múltiples estaciones* (MacKenzie 2006). Cada estación en el tiempo representó un mes de muestreo, a la vez cada estación contuvo dos eventos de muestreo, cada uno de ellos de 15 días, obteniendo con ello, 6 estaciones y 12 eventos de muestreo.

Teniendo en cuenta que la dinámica de la ocupación de parches (o pasos de fauna) puede ser descrita usando la tasa de cambio en la ocupación sobre el tiempo, y que en el ACG, las variables ambientales y de paisaje cambian de un extremo a otro entre la época seca y lluviosa, tres covariables fueron empleadas para definir los modelos de ocupación de las especies. Estas covariables fueron seleccionadas por su alta variabilidad en el tiempo del estudio. De esta manera, las variables usadas en los modelos de ocupación fueron: la cobertura vegetal adyacente al paso, la temperatura, y la precipitación promedio.

El cambio sobre la cobertura y obstrucción horizontal fue registrado cada 15 días sobre el transecto de 25 m a cada lado de las entradas de los pasos, con ello se calculó el promedio de cobertura correspondiente a cada paso y cada evento de muestreo. Los datos de precipitación y temperatura fueron obtenidos de la estación meteorológica “Santa Elena” (IMN, 2011). Para la temperatura, se obtuvo el promedio la temperatura cada 15 días, a este valor se le restó la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura dentro del paso, esto para obtener un valor más aproximado al microhábitat asociado a cada paso de fauna. De esta manera para cada muestreo se obtuvo un valor de temperatura por paso; de igual forma se promedió la precipitación quincenal y se obtuvo un valor de la precipitación constante para todos los pasos pero diferente entre muestreos. Los modelos de ocupación se realizaron en el programa PRESENCE 3.1 (Hines 2006).

4.3 RESULTADOS

Se obtuvieron 277 registros de vertebrados terrestres cruzando por los pasos de fauna. La proporción fue, 2% para los anfibios, 4% para las aves, 14 % para los reptiles y 80% para los mamíferos. Entre los mamíferos el grupo con mayor uso de los pasos de fauna fueron los de tamaño

medio, un 86% del total de los registros de mamíferos correspondió a este grupo, seguido por los mamíferos pequeños con un 11% y, finalmente los mamíferos grandes con un 3%. Cuarenta especies de vertebrados silvestres utilizaron los pasos de fauna, cuatro especies de anfibios, seis especies de aves ocho especies de reptiles y 23 especies de mamíferos (Anexo 1 y 2). Entre los últimos se encontraron siete mamíferos pequeños, 15 medianos y dos especies de mamíferos grandes. Las especies más representativas de acuerdo a la abundancia de sus registros fueron: guatusa (n=114), garrobo (n=22), pizote (n=17), tepezcuintle (n=12) y ocelote (n=11).

Cuadro 5. Modelos que explican la relación entre la riqueza de especies y las variables medidas en la estructura de los pasos de fauna, del paisaje y del grado de perturbación en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Modelo	AICc	df	<i>wi</i>
a R~Largo	75.6	2	0.369556
RM~Largo+Temperatura	63.7	3	0.46193
RR~Largo	44.9	2	0.2255
b R~Distancia al paso más cercano	83.1	2	0.3983
RM~Bosque seco	67.7	2	0.21135
RR~Cobertura	40.3	2	0.32329
c R~Ruido	76.8	2	0.5014
RM~Ruido	65.4	2	0.36182
RR~Tasa hombre	37	2	0.67207
d R~Largo+Ruido+Distancia al paso más cercano	79.4	4	0.4224
RM~Largo+Bosque Seco+Ruido	68.4	4	0.3312
RR~Ruido+cobertura	40.3	3	0.4763

a. MGL, atributos estructurales

b. MGL, atributos del paisaje

c. MGL, atributos de perturbación

d. MGL, mixto

R= Riqueza total de especies

RM=Riqueza de especies de mamíferos

RR=Riqueza de especies de reptiles

AICc= Criterio de información de *Akaike* (corrección para muestras pequeñas)

wi=Peso AICc

De los atributos estructurales de los pasos de fauna el “largo del paso” fue la única variable dentro de esta categoría que tuvo efectos significativos sobre la riqueza de especies de las taxa y riqueza total de vertebrados. Todos los modelos fueron explicados solamente por el largo del paso con excepción de la riqueza de mamíferos, que además de incluir el *largo* también incorporó la temperatura interna de los pasos de fauna. Las variables de paisaje de mayor importancia fueron la distancia al paso de fauna más cercano, el área de bosque seco adyacente y la cobertura vegetal. En cuanto a las variables de perturbación, el ruido, tuvo efectos significativos sobre la riqueza total, riqueza de mamíferos, y riqueza de especies de reptiles, esta última además del ruido fue explicada por la tasa de visitas hombre / mes. En los modelos mixtos las mismas variables configuraron los mejores modelos para cada grupo con diferentes agrupaciones. En el Cuadro 5, se observan los modelos que explicaron la riqueza con su respectivo criterio de selección. El resto de modelos lineales generalizados que se obtuvieron se presentan en el Anexo 3.

El modelo que mejor predice la riqueza total de especies dentro del grupo de variables estructurales, con un efecto positivo fue el largo de los pasos ($AICc=75.6$). Para el caso de las variables de paisaje, el mejor modelo ($AICc=83.1$) se conformó por la variable distancia al paso más cercano (+). En cuanto al modelo compuesto por las variables de perturbación ($AICc=76.8$), solamente el nivel de ruido fue significativo con un efecto positivo. El modelo (promedio) que incluyó los tres tipos de variables con un $AICc=79.4$ se compuso por las variables, largo del paso, ruido, y distancia al paso más cercano (Figura 11).

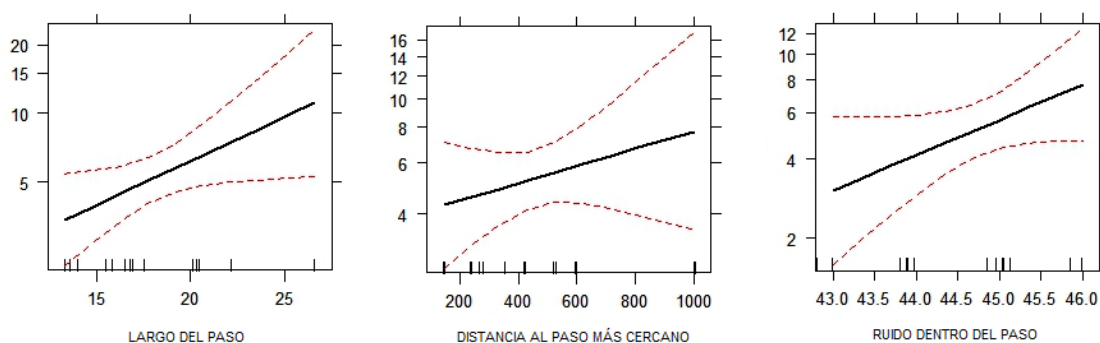


Figura 11. Efecto de las variables que explican la riqueza de total de especies que usan los pasos de fauna en la Carretera Interamericana en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (riqueza de especies en el eje y).

En la Figura 12, se observa que las variables de estructura que explicaron mejor la riqueza de mamíferos fue el largo del paso de fauna y la temperatura, esta última con un efecto negativo (AICc=63.7). El área de bosque seco alrededor del paso de fauna (2.5 km), con un efecto positivo fue la variable que mejor explicó la riqueza de mamíferos (AICc=67.7). En forma semejante, el ruido con un efecto positivo leve fue la única variable perteneciente a los atributos de perturbación que demostró tener un efecto significativo sobre la riqueza de mamíferos (AICc=65.4). El modelo promedio se conformó por las variables largo del paso, área de bosque seco circundante y ruido (AICc=68.4).

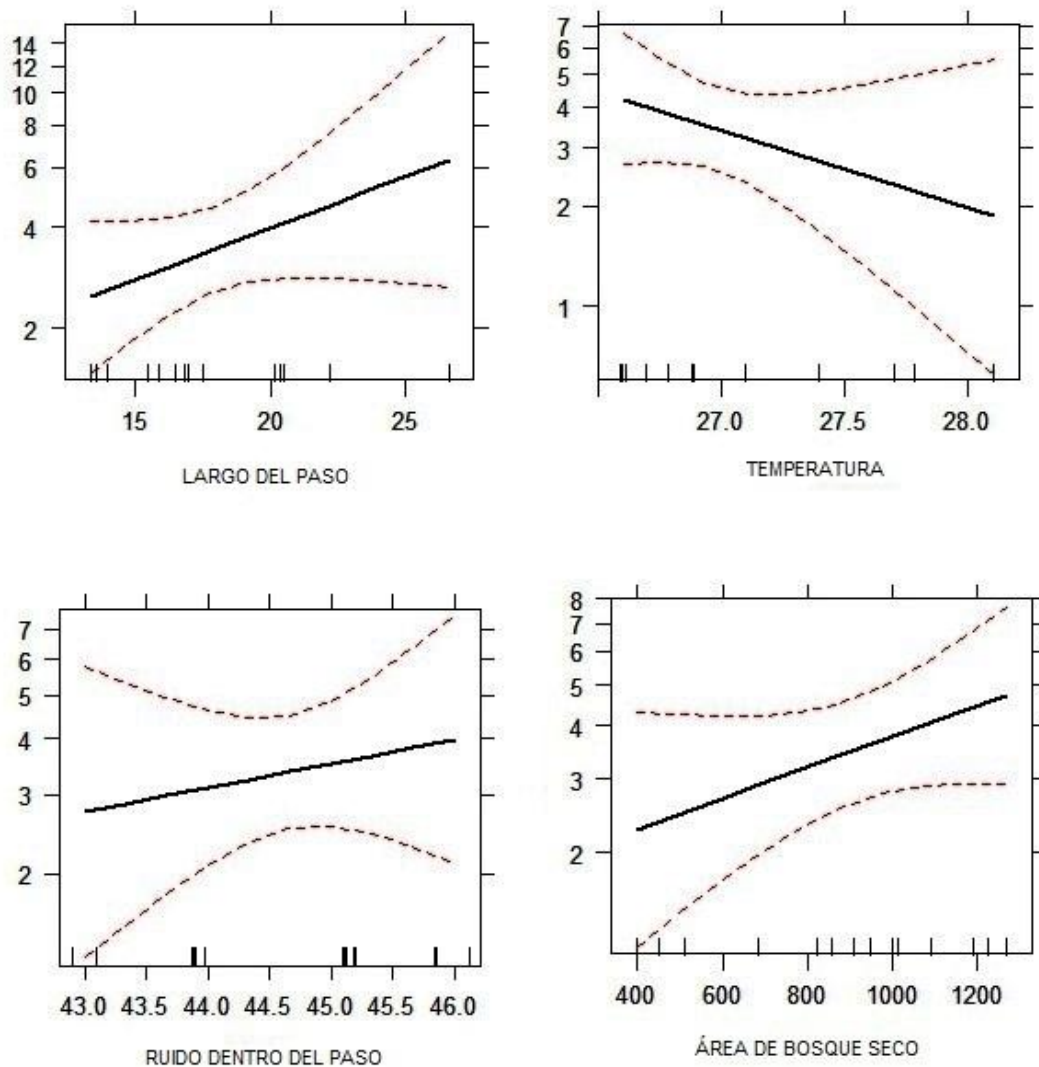


Figura 12. Variables que predicen la riqueza de especies del grupo mamíferos que usan los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (riqueza de especies en el eje y).

En cuanto a la riqueza de especies perteneciente al grupo reptiles, la variable con mayor aporte al modelo fue el largo del paso, con efecto positivo (AICc=44.9). La cobertura, con efecto negativo aportó mayor significancia al modelo conformado por variables de paisaje (AICc=40.3). El modelo compuesto por las variables de perturbación (AICc=37) quedó conformado con un efecto positivo por la variable de visita humana (hombre / mes). Finalmente para el modelo promedio (AICc=40.3) las variables de mayor peso fueron el ruido y la cobertura (Figura 13).

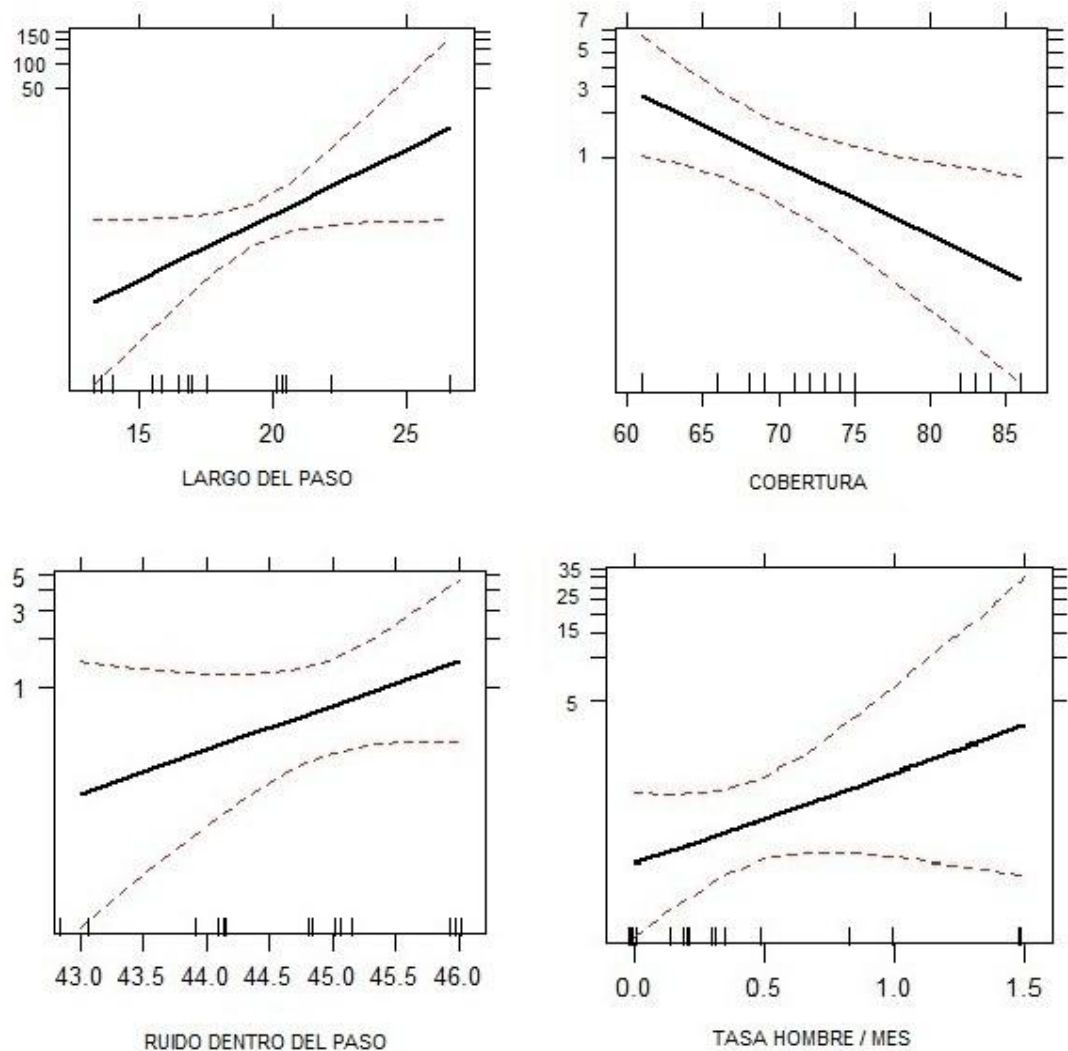


Figura 13. Variables que predicen la riqueza de especies del grupo reptiles que usan los pasos de fauna en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (riqueza de especies en el eje y).

Cuadro 6. Resumen de los modelos seleccionados para las especies con mayor número de registros de cruce en los pasos de fauna en la Carretera Interamericana entre los meses febrero a julio de 2011. Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (entre paréntesis el error estándar).

Especie	Modelo y probabilidades de cada parámetro	AIC	AIC w	Parámetros	-2l **		
Garrobo	$\Psi(\text{COB}),\epsilon(\text{PRE}),\rho(1)$		83.29	0.2074	3	77.29	
	$\Psi (-)$	0.4					
	$\epsilon (+)$	feb					1
		mar					0.6321
		abr					0.6749 (0.0929)
		may					0.6321
jun	0.6321						
$\rho (-)$	0.3428 (0.0906)						
Guatusa	$\Psi,\Upsilon(1),\epsilon(1),\rho(1)$		164.16	0.2563	4	156.16	
	$\Psi (-)$	0.6					
	$\Upsilon (-)$	0.063 (0.04)					
	$\epsilon (-)$	0.197 (0.09)					
	$\rho (+)$	0.6695 (0.07)					
Tepezcuintle	$\Psi,\Upsilon(\text{TEM}),\epsilon(\text{COB}),\rho(1)$		51.37	0.1571	4	43.37	
	$\Psi (-)$	0.2					
	$\Upsilon (-)$	***					
	$\epsilon (-)$	0					
	$\rho (-)$	0.2269 0.1115					
Pizote	$\Psi(\text{COB}),\epsilon(\text{PRE}),\rho(1)$		54.96	0.2295	3	48.96	
	$\Psi (-)$	0.2					
	$\epsilon (+)$	feb					1
		mar					0.6321
		abr					1
		may					0.6321
jun	0.6321						
$\rho (-)$	0.4003 0.1209						
Ocelote	$\Psi(\text{COB}),\epsilon(\text{PRE}),\rho(1)$		88.18	0.1258	3	82.18	
	$\Psi (+)$	0.6					
	$\epsilon (+)$	feb					1
		mar					0.6321
		abr					1
		may					0.6321
jun	0.6321						
$\rho (-)$	0.1004 0.0299						

Ψ = tasa de ocupación, Υ = tasa de colonización, ϵ = tasa de extinción, $\rho(1)$ = probabilidad de detección, AIC = Criterio de información de Akaike, AICw = Peso Akaike,

** Probabilidad (doble del logaritmo negativo)

*** Ver cuadro 7

Las tasas de ocupación (Ψ) para el garrobo, pizote y ocelote fueron explicados principalmente por la cobertura vegetal y una probabilidad de extinción (ϵ) y por la covariable precipitación. Para el caso del tepezcuintle el mejor modelo consideró la tasa de colonización (Υ) y como covariable a la

temperatura. La tasa de extinción (ϵ) fue explicada por la cobertura vegetal. El modelo desarrollado para la guatusa fue similar al del tepezcuintle, con la diferencia de que todos los parámetros ajustaron mejor el modelo sin mostrar efecto de alguna covariable (Cuadro 6). El resto de modelos calculados pueden observarse en el Anexo 4.

La tasa de ocupación para el garrobo, tuvo un efecto negativo en relación a la cobertura vegetal (0.40). La tasa de extinción respondió en forma positiva al patrón de lluvias, que entre los meses febrero a marzo fue de 1, de marzo a abril 0.63, entre abril y mayo de 0.6749 ($EE=0.092$), y para los últimos dos meses el valor se mantuvo en 0.63. La probabilidad de detección de esta especie mantuvo una tendencia negativa y fue de 0.3428 ($EE=0.09$).

La guatusa, tuvo una tasa de ocupación de 0.60, una probabilidad de colonización de los pasos de fauna de 0.063 ($EE=0.047$) y, una probabilidad de extinción de 0.197 ($EE=0.09$). La probabilidad de detección fue de 0.6695 ($EE=0.07$) y, fue la única especie que mostró un efecto negativo en todos los parámetros que formaron parte del modelo de ocupación, excepto por la probabilidad de detección que tuvo un efecto positivo.

La tasa de ocurrencia del tepezcuintle en los pasos de fauna fue de 0.2, el cual respondió en forma negativa a la temperatura del paso de fauna. La probabilidad de extinción de esta especie fue cero, la tasa de colonización varió de acuerdo a los cambios en la cobertura vegetal, estos valores son presentados en el Cuadro 7. La probabilidad de detección del tepezcuintle en los pasos de fauna fue de 0.2269 ($EE=0.11$) al igual que el resto de parámetros para esta especie el efecto fue negativo.

El pizote al igual que el tepezcuintle tuvo una tasa de ocupación de 0.2 modelado de forma negativa por la cobertura vegetal. La probabilidad de extinción respondió en forma positiva a los cambios de la precipitación y varió de 1 (entre febrero a marzo y abril a mayo) a 0.63 (en los períodos restantes). La probabilidad de detección tuvo un efecto negativo y fue de 0.5 ($EE=0.12$).

Para el caso del ocelote, la tasa de ocupación fue de 0.6 y respondió en forma positiva con la cobertura vegetal. La probabilidad de extinción al igual que el pizote fue de 0.63 con respuesta y efecto positivo a la variable precipitación, la cual varió de 1 (entre febrero a marzo y abril a mayo) a 0.63 (en los períodos restantes). La probabilidad de detección de esta especie en los pasos de fauna tuvo una tendencia negativa y fue de 0.1004 ($EE=0.029$).

Cuadro 7. Probabilidad estimada de la tasa de colonización de los pasos de fauna por el tepezcuintle entre febrero y julio de 2011 en la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (valores entre paréntesis representan al error estándar).

PASO	FEB - MAR	MAR - ABR	ABR - MAY	MAY - JUN	JUN - JUL
1	0.0672 (0.0423)	0.0641 (0.0411)	0.0653 (0.0415)	0.0616 (0.0402)	0.0613 (0.0401)
2	0.0672 (0.0423)	0.0641 (0.0411)	0.0653 (0.0415)	0.0616 (0.0402)	0.0613 (0.0401)
3	0.0704 (0.0434)	0.0670 (0.0422)	0.0683 (0.0426)	0.0645 (0.0412)	0.0642 (0.0411)
4	0.0704 (0.0434)	0.0671 (0.0422)	0.0683 (0.0426)	0.0645 (0.0413)	0.0642 (0.0411)
5	0.0622 (0.0404)	0.0592 (0.0392)	0.0603 (0.0397)	0.0570 (0.0383)	0.0567 (0.0382)
6	0.0661 (0.0418)	0.0630 (0.0407)	0.0641 (0.0411)	0.0606 (0.0398)	0.0602 (0.0396)
7	0.0662 (0.0419)	0.0631 (0.0407)	0.0642 (0.0412)	0.0606 (0.0398)	0.0603 (0.0397)
8	0.0671 (0.0422)	0.0639 (0.0410)	0.0651 (0.0415)	0.0615 (0.0401)	0.0612 (0.0400)
9	0.0671 (0.0422)	0.0640 (0.0411)	0.0651 (0.0415)	0.0615 (0.0401)	0.0612 (0.0400)
10	0.0677 (0.0424)	0.0645 (0.0412)	0.0657 (0.0417)	0.0620 (0.0403)	0.0617 (0.0402)
11	0.0615 (0.0401)	0.0586 (0.0390)	0.0596 (0.0394)	0.0563 (0.0380)	0.0560 (0.0379)
12	0.0581 (0.0388)	0.0554 (0.0377)	0.0564 (0.0381)	0.0532 (0.0368)	0.0530 (0.0367)
13	0.0677 (0.0424)	0.0645 (0.0412)	0.0657 (0.0417)	0.0620 (0.0403)	0.0617 (0.0402)
14	0.0664 (0.0420)	0.0632 (0.0408)	0.0644 (0.0412)	0.0608 (0.0398)	0.0605 (0.0397)
15	0.0597 (0.0394)	0.0569 (0.0383)	0.0579 (0.0387)	0.0547 (0.0374)	0.0544 (0.0373)

4.4 DISCUSIÓN

Para que los individuos se habitúen a una carretera pueden pasar de meses a varios años, y la duración de este período dependerá de la especie, aprendizaje, y ajuste de las características de comportamiento de la especie con los pasos de fauna (Clevenger et ál. 2002). En este estudio, especies como la guatusa, ocelote y garrobo, entre las más abundantes, al parecer se han habituado a tomar como parte de su hábitat a los márgenes de la carretera y a la vez, a hacer uso de los pasos de fauna (alcantarillas) bajo la Carretera Interamericana que cruza el ACG. Mata et ál. (2003) señalan el uso de las estructuras no específicas (pasos de fauna) por vertebrados; y que además, presentan criterios de selectividad por el tipo de paso (de acuerdo a variables o rasgos asociados).

Clevenger y Waltho (2000), mencionan que las medidas de mitigación a las colisiones fauna-vehículo deben tener un alcance multiespecie, en donde, los pasos de fauna son eficientes también para especies de menor prioridad y no solo para especies que son objetos de conservación. Lo anterior se interpreta de dos maneras, primero que los pasos más importantes son los que permiten el cruce de un mayor número de especies; y segundo, que la forma o tipo de los pasos no debe ser homogénea sobre

el tramo de interés. Diferentes tipos de estructuras pueden equilibrar la tasa de cruce de especies clave para la conservación, además de otras no consideradas en riesgo o en peligro de extinción, pero de importancia ecosistémica, como la guatusa. De acuerdo a lo anterior, y en base a la composición de especies que usó los pasos de fauna en la Carretera Interamericana, se puede sugerir que una de las razones para el uso de pasos de fauna por vertebrados se debe a los rasgos heterogéneos de las estructuras (forma y tamaño de los pasos). También es evidente que, a pesar que se registraron diferentes órdenes taxonómicos el escaso registro de anfibios y las altas tasas de mortalidad de este grupo en la Carretera Interamericana podría deberse a la ausencia de pasos adecuados para este grupo.

Varios estudios señalan que, entre todas las variables que podrían ser importantes y tener un efecto sobre las tasas de cruce de fauna silvestre a través de los pasos de fauna bajo las carreteras, la ubicación de estas estructuras de cruce y, la calidad del hábitat son las más importantes (Foster y Humphrey, (1995), Yáñez et ál. (1995), Land y Lotz (1996), Clevenger y Waltho (2005), Ng, et ál. (2004) y; otros, señalan que el diseño de la estructura de los pasos de fauna es el rasgo más importante a considerar (Norman et ál. 1998, Cain et ál. 2003). Estas diferencias pueden explicarse de acuerdo al taxón o composición de especies y factores específicos de los hábitats propios de cada sitio de estudio (Clevenger y Waltho 2005).

En este estudio, se consideró que los pasos de fauna, no se aíslan del paisaje o del grado de perturbación en el cual están inmersos; quiere decir que, no puede existir una variable más importante que otra; o paso de fauna igual a otro. Por ejemplo dos pasos pueden ser iguales, pero las condiciones del hábitat local pueden ser diferentes inclusive si estos se encuentran en una misma zona o muy cerca. De esta manera, las decisiones de manejo y conservación en el ACG tendrán elementos que integran varios factores (estructura de pasos de fauna, paisaje, perturbaciones) para guiar en forma más clara, los procesos de manejo asociados a los efectos de la Carretera Interamericana en el área protegida.

Entre las variables estructurales de los pasos de fauna, el largo tuvo una correlación positiva con la riqueza de especies, riqueza de mamíferos y riqueza de reptiles. Los estudios de Ng et ál. (2004), encontraron esta tendencia con los mamíferos medianos, pero el efecto fue contrario con los venados. Teniendo en cuenta que el largo de los pasos de fauna señalados por Ng et ál. (2004) fue de 45 a 250 m y, de 26 m en este estudio, se puede asumir que, la mayoría de las especies una vez habituadas al cruce por los pasos de fauna, no responden al efecto conocido como *efecto túnel*. Este efecto inhibe a los animales a pasar por los pasos de fauna resultado de la incapacidad del animal de ver un área suficiente grande al lado opuesto del cruce (Smith 2003).

Según Smith (2003) los venados son susceptibles al efecto túnel, sin embargo en este estudio a pesar que hubo pocos registros de la especie, esta especie, cruzó por los pasos de fauna de mayor tamaño y largos inferiores a los reportados en otros estudios. Donaldson (2007), encontró que especies como el oso pardo, lobos, alces y venados tuvieron una correlación alta con variables de la estructura de los pasos, presentando mayores tasas de cruce en estructuras anchas, altas y cortas de largo, estructuras que teóricamente presentan mayor apertura y menor *efecto túnel*. Sin embargo, las estructuras mencionadas por Donaldson (2007), incluyeron puentes, a los cuales se refiere como las estructuras de mayores tasas de cruce de venados, lo que induce a pensar que el paisaje asociado a esta estructura (vegetación asociada bajo puentes), puede estar teniendo un efecto mayor sobre el cruce de esta especie.

Es posible que las especies prefieran pasos largos por protección a predadores en ciertos casos o refugio y protección frente a temperaturas altas a lo largo del día, como es el caso de los reptiles, para los cuales, un paso largo puede representar un ancho mayor, lo que le ofrece mayor superficie de incidencia de los rayos del sol en las entradas y a la vez mayores facilidades de termorregulación. El largo de los pasos de fauna o el tamaño en sí de estos, también puede influir como protección ante temperaturas ambiente extremas.

En los pasos de fauna del ACG, los mamíferos presentaron una correlación negativa con la temperatura de los pasos, lo que sugiere que pasos largos tienen temperaturas menores que la temperatura externa (en comparación con pasos cortos, en donde los rayos del sol inciden en mayor área. Ascensão y Mira (2006) apoyan el argumento de que los pasos pueden funcionar como puntos refrescantes y áreas de regulación de la temperatura de las especies. De igual manera en este estudio, la variación en la temperatura entre el interior y exterior de los pasos de fauna, tuvo diferencias de 1°C entre las 19:00 y 07:00 horas (pasos con temperaturas mayores que la ambiente), y hasta 2.4°C entre las 07:00 y 18:00 horas (pasos con temperaturas más bajas que la ambiente). Los mamíferos al ser animales homeotermos podrían reducir la pérdida de energía térmica y controlar mejor el calor al encontrarse de pronto en un ambiente más fresco, como muestran registros fotográficos de las guatusas descansando en estos pasos en la época seca, cuando la temperatura externa alcanzaba 34°C o más.

La riqueza total de especies estuvo influenciada por la distancia al paso de fauna más cercano, lo que supone que, a mayor distancia entre las estructuras, mayor será el número de especies que usen los pasos de fauna. Aunque otros estudios no hacen análisis por taxas, a nivel de especies la distancia al paso más cercano fue una variable importante y de efecto positivo para la marta (Clevenger et ál. 2001) y el oso pardo (Clevenger and Waltho 2005). Clevenger et ál. (2001) en una de las recomendaciones para mejorar la permeabilidad de las carreteras para pequeños y medianos mamíferos señalan que los

pasos de fauna deben disponerse en intervalos de 130 a 300 m. En este estudio la distancia entre los pasos fue de 147 m a 2240 m. Lo anterior, sugiere que en ciertas partes de la Carretera Interamericana no hay pasos de fauna que ayuden a la conectividad, ni al flujo de genes si se considera lo mencionado por Forman y Sperling (2002), quienes argumentan que una población depende del número y frecuencia de pasos exitosos bajo una carretera para que la población pueda mantener la variación genética.

La riqueza de mamíferos se correlacionó positivamente con la cantidad de bosque seco (en un radio de 2.5 km alrededor de cada paso de fauna), lo que respalda la hipótesis de que ciertas especies son más sensibles a cambios en el hábitat, y que las oportunidades de cruce a través de los pasos aumentan a mayor área o hábitat original asociado al paso de fauna. Clevenger et ál. (2001), Yáñez et ál. (1995) y Rodríguez et ál. (1996) encontraron que los factores relacionados con el camino y el paisaje, son los que explican mejor el uso de los pasos, señalando como el principal factor a la localización de los pasos con respecto al hábitat, y dejando en segundo orden el diseño y estructura de los pasos de fauna. En el ACG, el área de bosque seco asociado a cada paso de fauna disminuyó de sur a norte (paso 1 a 15) y, siendo los mamíferos más sensibles que los reptiles a esta modificación de hábitat, presentaron mayor número de registros de especies entre los pasos 1 y 6, y los reptiles entre los pasos 6 a 15 más un efecto negativo de la cobertura sobre la riqueza del grupo.

Rodríguez et ál. (1996) encontraron que los reptiles prefieren pasos de tamaño intermedio, (entre 1.2 a 6 m). En este estudio los reptiles están usando pasos entre 0.6 a 3 m, siendo significativo el efecto de la cobertura sobre la riqueza de reptiles que usan estos pasos de fauna. Esto se interpreta, de la misma forma en que lo hace Rodríguez et ál. (1996), quienes indican que la correlación negativa que los reptiles presentaron con la cobertura se debe al uso que le dan a los pasos de fauna con menor protección o cubierta vegetal. En estos pasos, los rayos del sol caen directamente sobre las entradas facilitando las funciones de termorregulación de los reptiles.

La reducción del ruido es un factor que beneficia las tasas de uso de los pasos de fauna (Bissonette y Creamer, 2008), por lo tanto, se podría suponer que la relación de las tasas de cruce también está influenciada con el nivel de ruido. Clevenger y Waltho (2005) encontraron que el cruce de animales por los pasos de fauna decrece con el aumento del ruido. En este estudio, la riqueza de especies total, así como la riqueza de mamíferos y de reptiles presentó un patrón semejante. Al carecer de información que explique el efecto del ruido sobre las especies registradas en este estudio, se asume que las aves son especies susceptibles a los niveles de ruido tanto como reptiles, anfibios y mamíferos. Reijnen et ál. (1995, 1996^{a,b}) mencionan que las aves tienden a ser afectadas en su comunicación intraespecífica entre los 42dBA (aves de bosque) y 48dBA (aves de pastizales). En este estudio el nivel

de ruido osciló entre los 44dBA y 46dBA (dentro de los pasos), valores que no se encuentra dentro de niveles mencionados anteriormente; además, las especies registradas están adaptadas al borde de la Carretera Interamericana.

El efecto del ruido en este estudio, podría deberse a dos factores, primero, los niveles de ruido por paso de fauna se registraron en horas de la mañana, y lo ideal es hacerlo en diferentes períodos del día. Segundo, el nivel de ruido influye sobre los pasos de fauna debido a factores como la cercanía a la carretera y/o factores geográficos del terreno y trazado de la vía, así, pasos ubicados en curvas de la carretera podrían tener mayores niveles de ruido que aquellos en segmentos en línea recta. La ubicación y topografía de cada paso también pueden tener influencia en la medición del ruido. Si el paso se ubica en una quebrada, el ruido puede disiparse en menor proporción que un paso ubicado en condiciones del terreno homogéneas. Los pasos de fauna sobre quebradas estacionales (pasos 1 a 4) se ubican a mayor profundidad de la carretera y en una topografía más irregular. Estos factores hicieron que estos pasos de fauna tuvieran mayor frecuencia de cruces de animales, además, tuvieron mayor bosque seco asociado y las quebradas pudieron conducir a un mayor número de animales hacia ellos.

La tasa de visita de personas a los pasos de fauna (hombre / mes), mostró relación con la riqueza de reptiles, la misma tuvo un efecto positivo. Rodríguez et ál. (1997) y Foster y Humphrey (1995) encontraron una correlación positiva entre las tasas de cruce y la frecuencia de uso de los pasos por humanos y, fueron menores a 1 (<1 persona/día). En este estudio la tasa de visita humana fue menor a un registro por mes, muy por debajo de los valores registrados en los estudios citados anteriormente. Es importante acotar, que los pasos de fauna con mayor visita de seres humanos son los más visibles desde la carretera y con menor cobertura, esto hace que los reptiles al preferir pasos de fauna con menor cobertura, se encuentren asociados a hábitats con mayor uso por humanos.

Los modelos de ocupación, describen diferencias en el uso de los pasos a través del tiempo por variaciones ambientales asociadas al bosque seco, por lo tanto, las especies responden diferente a dichas variables y sus respuestas se explican por su comportamiento y requerimientos de hábitat. En términos generales las variaciones de cobertura, precipitación y temperatura tienden a disminuir la probabilidad de ocupación, así como la probabilidad de detección de las especies, a medida que la estación de lluvia se estabiliza.

Entre todas las especies analizadas bajo los modelos de ocupación, solo el ocelote tuvo una tasa de ocupación con tendencia positiva, y, de todas las especies analizadas, solo la guatusa tuvo una probabilidad de detección positiva a lo largo del tiempo. El ocelote, aumentó su probabilidad de ocurrir en un paso de fauna debido a los efectos de cobertura en la época de lluvia (relación positiva con la

variable cobertura vegetal. Lo anterior es sustentado por los estudios de Grilo et ál. (2008) quienes señalan, que los carnívoros se ven favorecidos por la presencia de cobertura a las entradas de los pasos pues esto les proporcionaría protección y seguridad.

El régimen de lluvias afecta a los pasos al inundarlos de agua. Lo anterior, restringió al garrobo, pizote y ocelote a usar los pasos de fauna en esta época. Estas especies también mostraron probabilidades de extinción modeladas por la covariable precipitación. La precipitación en los primeros meses del estudio fue nula aumentando considerablemente en los meses de mayo y junio, meses en los cuales los efectos positivos de la precipitación indican que, a medida que transcurre el tiempo, las lluvias aumentan y con ellas las especies se extinguen en algunos pasos de fauna.

La tasa de ocupación del pizote fue descrita como negativa con respecto a la cobertura vegetal, lo que indica que, el pizote a medida que avanza la estación húmeda y con ella aumenta la cobertura vegetal, no ocupa los pasos de fauna. Este factor se explica por el efecto que la precipitación tiene sobre la ausencia de la especie y por rasgos en el uso del territorio de la especie. Sáenz (1994) señala que los grupos (hembras) tienen un ámbito de hogar de alrededor 800 ha y los machos de unas 950 ha. Janzen (1991) menciona que las hembras visitan las áreas periféricas de su territorio esporádicamente, y los machos son deambuladores en áreas mayores y, es posible que el borde de la carretera sea parte de las áreas periféricas. Todos los pizotes registrados fueron machos y, ocurrieron en tres pasos solamente (1, 2, y 10), y en época seca. Lo que sugiere que, la especie en busca de alimento, extiende sus patrullajes hacia áreas periféricas dentro de su territorio y en la época de lluvia deja de visitar los pasos, porque el bosque ya reverdecido ofrece recursos más abundantes.

La guatusa, fue la única especie a la que no afectó el tiempo y aumentó su probabilidad de detección, sin embargo también registró tasas de extinción y tasas de colonización (en los pasos) negativa a lo largo del tiempo. Estos aspectos evidencian que la especie está dejando de usar ciertos pasos de fauna en determinado momento y usa otros. Pese a que la probabilidad de detección aumenta con el tiempo (0.67), la probabilidad de que el sitio esté ocupado es menor (0.53), esto indica que los eventos de cruce tienen buena probabilidad de ser detectados. Sin embargo, la ocurrencia de la especie no es homogénea en todos los pasos, hubo pasos de fauna que la guatusa no utilizó. Este patrón de ocurrencia puede sustentarse en los argumentos de Smythe (1986), Rodríguez y Vaughan (1985), quienes indican que la guatusa nunca usa un mismo dormitorio, cueva o madriguera, sino que cambia constantemente. Rodríguez y Vaughan (1985) señalan que el recorrido mínimo de la guatusa en un día en el bosque seco (Palo Verde, Costa Rica), fue entre 727 y 1805 m, lo que sugiere que la carretera forma parte de su ámbito de hogar.

La probabilidad de que el tepezcuintle ocupe los pasos de fauna de 0.2, considerada baja en relación al resto de especies. Los cambios en las tasas de colonización de los pasos de fauna por el tepezcuintle se deben en parte a la temperatura, así, a medida que la temperatura disminuye, los registros de la especie también lo hacen, lo que la hace una especie muy selectiva a la hora de atravesar determinados pasos de fauna. La probabilidad de ausencia (extinción) de la especie en algunos pasos de fauna está relacionada a la cobertura vegetal, así, a medida que la vegetación aumenta los registros del tepezcuintle se mantienen. Según Janzen (1991) los tepezcuintles pueden sobrevivir en fragmentos de vegetación que quedan en medio de tierras agrícolas, y su dependencia de agua posiblemente restringe su hábitat a bosques de ribera. El tepezcuintle fue registrado en el inicio de la época de lluvias, pese a que el parámetro extinción se presenta en el modelo de esta especie, al parecer la probabilidad de extinción una vez que la temporada de lluvias se estabiliza tiende a ser cero. En relación a lo anterior, el tepezcuintle fue uno de las pocas especies que atravesó los pasos de fauna con niveles de inundación que sobrepasaban la mitad de la altura del animal. Lo que indicaría que la especie está seleccionando pocos pasos de fauna (siempre los mismos) y que bien podrían tener o estar cerca a fuentes o pozas permanentes de agua.

4.5 CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL MANEJO

Los pasos de fauna se encuentran inmersos en una dinámica propia en asociación con el paisaje, las características de comportamiento y biología de las especies que habitan cerca de las carreteras, y con la perturbación humana. Si hay un paso de fauna que cuente con atributos de paisaje óptimos para brindar la conectividad estructural, pero este no cuenta con el tamaño adecuado para que un animal lo atravesara, resultará intransitable a dicho animal. Por otro lado, si existiere un paso que reúne las características estructurales que permitan el cruce de una diversidad de especies, pero si este no está ubicado en el lugar adecuado (conectividad estructural), sus ventajas de uso se desvanecerían.

Las variables con mayor efecto sobre la riqueza total de especies que atraviesan los pasos de fauna, incluye la cobertura vegetal, nivel de obstrucción de los pasos y áreas de bosque seco, lo que supone que el ACG mantiene una buena conectividad estructural (visto de manera general y no a nivel de taxones vegetales). El segmento de la carretera en este estudio, tiene un hábitat inmediato a la carretera muy homogéneo, tanto así, que el ocelote, fue registrado en muchos de los pasos (pasos del 1 al 6, 8, 14 y 15). Sin embargo, es a nivel de taxas donde los atributos de estructura del paisaje (cantidad de bosque seco circundante) definen mayor selectividad sobre las especies que usan los pasos de fauna principalmente para mamíferos y reptiles.

A mayor número de carreteras, mayores son los ingresos monetarios y las facilidades para el comercio, pero a la vez, mayores disturbios se generan en el paisaje (Wilkie 2000). Visto de esta manera, una carretera de mayor tamaño e infraestructura, capaz de duplicar el tránsito, como sería el caso de la Carretera Interamericana que cruza el ACG, favorecerá el comercio para el país y/o región en la cual se encuentran. El comercio y turismo son parte también de presupuestos estatales que benefician al desarrollo de un país, siendo así, los caminos deben también planearse para evitar los efectos negativos que generan en el paisaje y la fauna, elementos que también son parte del desarrollo (turístico) y fuentes de servicios para mejorar la calidad de vida de la población (agua, biomasa, ciclo de los nutrientes).

Por otro lado, la ampliación de la carretera y las modificaciones que esta obra demanda podría tener efectos sobre las especies de vertebrados terrestres. En lo particular, y de interés de este estudio, estructuras con el doble del largo actual y, de ancho y alto reducido pueden resultar hostiles para algunas especies; por lo que si se llegara a ampliar la carretera y modificar los pasos de fauna, sería recomendable que el ancho de las estructuras aumente según su largo. A la vez, la ampliación de la carretera, también podría ser la oportunidad, de no solo mejorar los pasos de fauna, sino también de ubicar otros en puntos de alta mortalidad o sitios de alta conectividad estructural del paisaje.

De igual forma, comparar un paso de fauna con otro, realizado en áreas de estudio diferentes, se torna complicado pues las carreteras basan su construcción en la demanda vehicular o topografía, lo que influye en la construcción y diseño de diferentes tipos de pasos de fauna; además de la importancia que el régimen de lluvias pueda tener en pasos no específicos (alcantarillas), construidos con el objeto de escurrir en la cuenca hidrográfica a la cual la carretera atraviesa. Pese a que la composición de especies que usan los pasos de fauna en dos lugares diferentes podrían coincidir en ciertas especies, no se puede aislar el efecto que tienen las relaciones interespecíficas de uso del hábitat, comportamiento y densidad poblacional de las especies.

Cada paso de fauna y cada área de estudio deben verse de manera particular aunque los métodos y técnicas de evaluación pueden ser estandarizados. Estudios futuros en el ACG deben describir características de estructura de los pasos de fauna, paisaje y niveles de perturbación (ruido, tráfico, etc.), esto servirá para identificar como las especies están relacionándose con el uso de los pasos de fauna, y más aún, medir variables asociadas a la carretera como el tráfico, ruido que puedan cambiar en el tiempo y a la vez influir sobre el uso de hábitat de las especies alrededor de las carreteras y la eficiencia de los pasos de fauna.

Actualmente, la perturbación en el área de estudio (ruido, tasa de visita hombre / mes, tasas de mortalidad de mamíferos), pese a ser representativas, parece que no están teniendo efectos negativos sobre la riqueza de especies como los señalados en otros lugares. Esto representa la oportunidad perfecta para continuar con el monitoreo de los pasos de la fauna vertebrada bajo la Carretera Interamericana y sobre ella, y así contar con mayor información sobre el uso de los pasos de fauna (antes de la posible ampliación de la carretera). De esa manera aportar con evidencias para la mitigación del impacto de la obra, e incluso medir el tiempo de readaptación de la fauna a la carretera y a los pasos de fauna luego de un período de alta perturbación como lo es la fase de la construcción de caminos.

Resulta interesante conocer las variaciones que ciertas especies mostraron en el uso de los pasos de fauna. Algunas especies utilizaron algunos pasos con mayor frecuencia que otros y, esto tiene relación con los cambios en el tiempo de las variables dinámicas como, la pérdida y regeneración de la cobertura vegetal en un bosque seco, régimen de lluvias, y variaciones de la temperatura ambiente entre estaciones del año.

El describir en forma puntual a lo largo del tiempo lo que está pasando en los pasos de fauna será útil para tomar medidas de manejo y conservación de las especies. Por ejemplo, el ocelote, carnívoro que cruzó en forma frecuente los pasos de fauna, se ve favorecido del incremento de la cobertura vegetal, pero a la vez que aumenta la cobertura vegetal, el aumento en las lluvias, disminuye el uso de los pasos de fauna por parte de este felino. Un factor que podría ayudar a esta especie en la época lluviosa es la adecuación de los pasos de fauna, de tal forma que permitan el cruce de agua y animales en las temporadas de lluvias (desniveles o pasarelas interiores).

Finalmente, sería importante conocer la densidad de individuos y especies (en especial mamíferos grandes y medianos con pocos registros de cruce en este estudio) que habitan cerca de la carretera y llegan cerca de los pasos de fauna y que a la vez no atraviesan dichos pasos, más aún, determinar si estos individuos están cruzando por la carretera. Por ejemplo, en la época seca y, sobre el camino de tendido eléctrico (límite de los parques), se pueden orientar cámaras de tal forma que permitan fotografiar animales dentro del mayor rango posible del camino. Con ello se podría comparar los registros de cruce con estos y determinar si el animal llegó a cruzar la carretera, sobre ella, por los pasos o simplemente llegó al borde de la vía y se regresó por el camino que lo condujo hasta ahí.

5 LITERATURA CITADA

- ACG, CR. 2008. Área de Conservación Guanacaste homepage (en línea). San José, CR. Consultado nov. 1 2010. Disponible en http://www.acguanacaste.ac.cr/1999/frame_que_es_acg.html
- Ascensão, F; y Mira, A. 2006. Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecological Research* 22(1):57-66.
- Beckman, J; Clevenger, A; Huijser, M; Hilty J. (eds.) 2010. Safe passages highways, wildlife, and habitat connectivity. Island Press. Washington DC. 396p.
- Bissonette, J; Cramer, P. 2008. Evaluation of use and effectiveness of wildlife crossings. Transportation Research Board. Washington D.C. 174p.
- Cain, A; Tuovila, V; Hewitt, D; Tewes, M. 2003. Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in Southern Texas. *Biol. Conserv.* 114(2):189-197.
- Clevenger, A; Chruszcz, B; Gunson, K. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology* 38:1340-1349.
- Clevenger, A; Chruszcz, B; Gunson, K; Wierzchowski, J. 2002. Roads and wildlife in the Canadian Rocky Mountain Parks – movements, mortality and mitigation. November 1996 – March 2002. Final report submitted to Parks Canada. Banff, Alberta. 432p.
- Clevenger, A; Waltho, N. 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation* 121:453-464.
- Clevenger, A; Huijser, M. 2011. Wildlife crossing structure handbook design and evaluation in North America. Technical report No. FHWA-CFL/TD-11-003. Western Transportation Institute. Bozeman – United States of America. 223p.
- Donaldson, B. 2007. Use of highway underpasses by large mammals and other wildlife in Virginia: Factors influencing their effectiveness. *Transportation Research Record* #2011:157-164.
- ESRI. 2011. ArcMap 9.3. ESRI Inc. (en línea) Disponible en: www.esri.com
- Forman, R; Sperling, D; Bissonette, J; Clevenger, A; Cutshall, C; Dale, V; Fahrig, L; France, R; Goldman, C; Heanue, J; Jones, J; Swanson, F; Turrentine, T; y Winter, T. 2003. Road ecology science and solutions. Washington DC. 481p.

- Foster, M.L; Humphrey, S.R. 1995. Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wild- life Society Bulletin* 23:95-100.
- Google Earth (versión 6.1). 2011. Mountain View, CA: Google Inc. (software en línea). Disponible en: <http://www.google.com/intl/es/earth/index.html>.
- Grilo, C; Bissonette, J; Santos-Reis, M. 2008. Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: implications for road planning and mitigation. *Biodiversity and Conservation* 17(7):1685-1699.
- Hines, J. E. (2006). PRESENCE2- Software to estimate patch occupancy and related parameters. USGS-PWRC. Disponible en: <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>.
- IMN. 2011. Temperatura y precipitación (enero-agosto 2011) de la estación meteorológica Santa Elena. Instituto Meteorológico Nacional. San José, CR.
- Land, D; Lotz, M. 1996. Wildlife crossing designs and use by Florida panthers and other wildlife in southwest Florida. In Evink, G; Garrett, P; Zeigler, D; Berry, J. (eds). *Proceedings of the 1996 international conference on wildlife ecology and transportation*. State of Florida department of transportation environmental management office, Tallahassee, Florida, USA (en línea). Consultado en nov. 7 2010. Disponible en: <http://www.icoet.net/ICOWET/96proceedings.asp>.
- Leiva, J; Rocha, J; Mata, R; Gutiérrez-Soto, M. 2009. Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Rev. Biol. Trop.* 57 (3):817-836.
- Norman, T; Finega, A; Lean, B. 1998. The role of fauna underpasses in New South Wales. Pages 195-208. In: Evink, G; Garrent, P; Ziegler, D; Berry, J. (eds). *Proceedings of the International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*, Tallahasee. FL.
- Janzen, D. (ed). 1991. *Historia Natural de Costa Rica*, Traductor Manuel Chavarría, Editorial Universidad de Costa Rica, 1991, San José, CR. 822p.
- MacKenzie, D; Nichols, J; Royle, J; Pollock, K; Bailey, L; Hines, J. 2006. *Occupancy Estimation and Modeling - Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Elsevier Publishing. 324p.
- Mata, C; Hervás, I; Herraz, J; Duárez, F; Malo, J. 2003. Effectiveness of wildlife crossing structures and adapted culverts in a highway in northwest Spain. Chapter 8. *Habitat connectivity: monitoring of crossing structures*. ICOET Proceedings making connections.

- Ng, S; Dole, J; Sauvajot, R; Riley, S; Valone, T. 2004. Use of highway undercrossing by wildlife in southern California. *Biological Conservation* 115(3):499-507.
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Reijnen, R; Veenbass, G; Foppen, R. 1995. Predicting the effects of motorway traffic on breeding bird populations. DLO Ins. For Nat. Res. Ministry Transp. Public Works, Delft, The Netherlands. 92p.
- Reijnen, R; Foppen, R; Meeuwsen, H. 1996^a. The effects of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grasslands. *Biol. Conserv.* 75:255-60.
- Reijnen, R; Foppen, R; ter Braak, C; Thissen, J. 1996^b. The effect of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *J. Appl. Ecol.* 32:187-202
- Rodríguez, J; Vaughan, C. 1985. Notas sobre la ecología de la guatusa (*Dasyprocta punctata* Grey) en el bosque seco tropical de Costa Rica. *Brenesia.* 24:353-356.
- Rodríguez, A; Crema, G; Delibes, M. 1996. Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of Applied Ecology* 33(6):1527-1540.
- Rodríguez, A; Crema, G; Delibes, M. 1997. Factors affecting crossing of red foxes and wildcats through non-wildlife passages across a high-speed railway. *Ecography* 20:287-294.
- Singler, A; Graber, B. (eds). 2005. Massachusetts stream crossings handbook. Massachusetts riverways program. 14p.
- Sáenz, J. datos sin publicar. Informe técnico. Mortalidad de fauna vertebrada en la carretera Interamericana Norte. Área de Conservación Guanacaste. CR.
- Sáenz, J. 1994. Ecología del pizote y su papel como dispersor de semillas del bosque seco tropical. Tesis Mag. Sc. Heredia, CR. Programa regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional. 138p.
- Smith, D. J. (2003). Monitoring wildlife use and determining standards for culvert design. Gainesville, Florida: Department of Wildlife Ecology and Conservation, University of Florida. 87p.

- Smythe, N. 1986. Competition and resource partitioning in the guild of neotropical terrestrial frugivorous mammals. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17:169-188.
- Wilkie, D; Shaw, E; Rotgerg, F; Morelli, G; Auzel, P. 2000. Roads development, and conservation in the Congo basin. *Conservation Biology* 14(6) 1614:1622.
- Yáñez, M; Velasco, J.M; Suarez, F. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates the importance of culverts. *Biol. Conservation* 71:217-222.

6 ARTÍCULO 3. MODELOS DE CONECTIVIDAD FUNCIONAL PARA EL OCELOTE (*Leopardus pardalis*) Y GUATUSA (*Dasyprocta punctata*), EN ÁREAS DE LA CARRETERA INTERAMERICANA QUE CRUZA EL ACG, COSTA RICA

RESUMEN

En el Área de Conservación Guanacaste (ACG) existen 15 pasos de fauna (alcantarillas) bajo la Carretera Interamericana, carretera que separa a los Parques Nacionales Santa Rosa (PNSR) y Guanacaste (PNG). Entre las especies con mayor frecuencia de cruce a través de los 15 pasos de fauna se encuentra el ocelote (*Leopardus pardalis*) y la guatusa (*Dasyprocta punctata*). Se usaron ambas especies para elaborar un modelo de conectividad funcional sobre el área marginal de la Carretera Interamericana. El modelo, interpretó la movilidad de las especies sobre la carretera utilizando valores de conductancia (resistencia) propios de cada especie sobre los distintos usos del suelo en el área. Se tomó un área buffer alrededor de la carretera de forma rectangular de 14 x 13.5 km, tratando de incluir el área de influencia inmediata a los 15 pasos de fauna. Sobre esta capa, se identificó como parches focales o bosques fuentes de dispersión de las especies, aquellos parches de bosque seco que se encuentran en forma contigua y paralela a la carretera. Los modelos fueron elaborados de acuerdo a la teoría de circuitos propuesta por Mcrae y Shah (2008) usando el programa Circuitscape 3.4.5 desarrollado por los mismos autores. Los modelos, mostraron tres áreas de alta movilidad de las especies con ausencia de pasos de fauna, y en las cuales, se debe tomar medidas de mitigación y conservación de la conectividad para la fauna frente a una ampliación a cuatro carriles de la Carretera Interamericana. También se identificaron pasos de fauna con conectividad alta no usados por guatusas y ocelotes, lo que se atribuyó en el caso del ocelote a restricciones en el tamaño de los pasos y, para la guatusa a las diferencias de uso del bosque seco, charrales y tacotales asociados a la Carretera Interamericana en distintas etapas de sucesión.

Palabras claves: ocelote, guatusa, modelo de conectividad, teoría de circuitos, carreteras, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

6.1 INTRODUCCIÓN

Los corredores y los cruces de vida silvestre (pasos de fauna) permiten varias funciones biológicas: reducir la mortalidad e incrementar el movimiento dentro y entre las poblaciones, satisfacer los requerimientos biológicos de alimento, reproducción y cobertura, dispersión de individuos, permitir la recolonización después de largas ausencias, redistribución de las poblaciones en respuesta a cambios ambientales y disturbios naturales, además mantienen metapoblaciones a largo plazo y la estabilidad de la comunidad y los procesos del ecosistema (Clevenger y Huijser 2011).

La conectividad del paisaje es definida por Taylor et ál. (1993) como el grado por el cual el paisaje facilita o impide el movimiento de organismos entre parches o fragmentos de bosque. Esta puede abordarse desde la conectividad estructural (conexión física entre los elementos del paisaje) y la conectividad funcional, que son características biológicas de las especies, como su habilidad para usar y moverse a través de diferentes elementos del paisaje (Farina 2006). Por lo tanto, los requerimientos de hábitat y vagilidad de las especies, así como la conectividad, deben ser analizada a diferentes escalas (Beckman et ál. 2010). Según la escala de evaluación, la ecología del paisaje, puede aportar herramientas para facilitar el manejo de la vida silvestre en hábitats asociados a factores de perturbación. Pero, se debe considerar los requerimientos de hábitat de las especies, características físicas, la dinámica de los parches en donde estas especies se desarrollan, características del paisaje, capacidad de carga del hábitat, niveles de perturbación (van Langevelde y Jaarsma 2009), entre otros aspectos basados en las funciones biológicas de las especies.

Una de las herramientas elementales de la ecología del paisaje es el modelamiento de funciones; por ejemplo, al usar modelos espaciales para describir la conectividad conjuntamente con el principio fuente-sumidero, se asume que los animales seleccionan parches más adecuados entre otros disponibles en el paisaje. Estos parches pueden considerarse entonces como parches focales desde los cuales las especies tienen mayor probabilidad de dispersarse hacia otros, pero pueden estar separados por barreras o infraestructuras como las carreteras; por esta razón, el movimiento de los animales y la selección del parche están determinados por varias señales internas y externas en la memoria espacial, mapas cognitivos y atracción coespecífica de los individuos (Farina 2006), los cuales se adaptan a estas barreras y direccionan sus desplazamientos por rutas conocidas.

Lo anterior sugiere que, si una especie, puede distribuirse en áreas perturbadas por carreteras, como el caso de las especies registradas en la Carretera Interamericana que pasa por el ACG, y a la vez, es capaz de atravesarla usando pasos de fauna en forma frecuente, mayores tasas de cruce ocurrirán en áreas que cuenten con una buena conectividad estructural entre parches. Siendo la

estructura del paisaje tan importante como las características de las especies, Farina (2006) sugiere que los estudios de conectividad deben enfocarse en la relación entre la estructura del paisaje y movimiento de las especies.

En el ámbito de la ecología del camino, varios autores recomiendan que, al identificar las potenciales medidas de mitigación frente a infraestructuras lineales (caminos, carreteras, líneas ferroviarias), es necesario localizar no solamente las zonas de alta frecuencia de colisiones en la carretera, sino también, las áreas donde la permeabilidad del paisaje puede asociarse al desplazamiento de varias especies (Bissonette y Cramer 2008).

Muchos estudios identifican las relaciones entre los pasos de fauna y especies individuales, restando atención a múltiples especies o a las respuestas a nivel de comunidad ecológica (Forman et ál. 2003). Clevenger and Waltho (2005) señalan que, para maximizar la conectividad a través de las carreteras para múltiples especies de mamíferos, la construcción de una diversidad de pasos de fauna y la mezcla de los diferentes tipos debe ser realizada a lo largo de un tramo de carretera de interés; lo que sumado a consideraciones de la ecología del paisaje, deberán ser especies de las cuales se conozca al menos parte de la movilidad asociada al paisaje y a la carretera.

Los modelos del *menor costo* u otras extensiones de la teoría gráfica, así como la teoría de circuitos pueden ser usadas para identificar áreas conectadas, donde el movimiento es restringido y cuantificar la extensión por la cual un bloque particular del paisaje contribuye a la conectividad a través de redes enteras (Kramer et ál. 2004, Beier et ál. 2010). Para tomar decisiones y establecer medidas de mitigación para reducir la mortalidad sobre la carretera y aumentar la conectividad funcional en una determinada área, es necesario tener en cuenta los requerimientos asociados al uso del hábitat dentro del paisaje de interés y estos requerimientos pueden ser obtenidos de diferentes formas. En la revisión de estudios de conectividad y modelos de movilidad realizada por Beier et ál. (2008), se mencionan cálculos de resistencia de las especies sobre un hábitat determinado en base a la opinión de expertos, datos empíricos del uso del hábitat o de la abundancia relativa, registros empíricos del movimiento de las especies entre parches, ocurrencia en el área, revisiones de literatura e incluso datos genéticos.

La teoría de circuitos en ecología es análoga a la teoría de circuitos eléctricos, en estos modelos se requiere trasladar el conjunto de datos espaciales a una estructura gráfica, en donde la resistencia en términos ecológicos se representa por el tipo de hábitat en el cual, el animal no tiene movimiento (fricción), y la conductancia, es análoga al hábitat permeable (McRae et ál. 2008). La corriente o nivel de conectividad puede ser medido en un paisaje en base a un tipo de hábitat particular o regiones

focales, es decir, parches de bosque a través de los cuales se requieran medir o describir áreas de conexión o corredores de movilidad de las especies.

Para asignar los valores de conductividad, es necesario tener conocimiento de las preferencias de hábitat (usos de suelo o hábitats) del paisaje de interés. En base a ello, se obtiene un mapa de uso de hábitat de la especie codificado en base a la permeabilidad del o los hábitats. Este mapa, más un mapa de áreas focales (parches de hábitats a conectar) y puntos empíricos en donde se ha registrado a la especie de interés son los elementos mínimos para modelar las funciones de movimiento de las especies sobre el paisaje. Cuando no se cuenta con suficientes datos bibliográficos o empíricos y, sabiendo que usualmente las decisiones de diseño y localización de pasos de fauna necesitan realizarse en poco tiempo, los modelos de movimiento se basan en el conocimiento de expertos en la ecología de las especies para las cuales se elaboran los modelos. También el conocimiento local es válido cuando se trata de describir los procesos de uso de hábitat y movilidad en un área determinada de forma rápida (Clevenger y Huijser 2011).

De acuerdo a Beier et ál. (2008) el primer paso para desarrollar un modelo consiste en definir el objetivo biológico y las especies focales en un paisaje identificado. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron desarrollar dos modelos de conectividad funcional para dos de las especies con mayor ocurrencia y frecuencia de uso de los pasos de fauna ubicados bajo la Carretera Interamericana, que atraviesa el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (ACG). Con ello se precisó la ubicación de las áreas de mayor vulnerabilidad, y en donde se deban ejecutar medidas de manejo que aporten con permeabilidad a la carretera y la conservación de la conectividad funcional entre los Parques Nacionales Santa Rosa y Guanacaste que se encuentran separados por esta carretera.

6.2 MATERIALES Y MÉTODOS

6.2.1 Área de estudio

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) se ubica en el Pacífico Noroeste de Costa Rica, incluye nueve zonas de vida entre la costa del Pacífico Norte hasta los 1916 metros sobre el nivel del mar (msnm) en las estribaciones de la llanura caribeña. Tiene una extensión de 120,000 hectáreas de ecosistemas terrestres y más de 70,000 hectáreas marinas (ACG 2008). Según el sistema de Zonas de Vida de Holdridge el área pertenece al bosque seco tropical, tiene una temperatura promedio anual de 27°C y una precipitación promedio anual de 1250 mm; siendo los meses secos de noviembre a abril y los lluviosos de mayo a octubre (Leiva et ál. 2009). El ACG se encuentra dividida por un segmento de la Carretera Interamericana, que separa a las áreas protegidas Guanacaste y Santa Rosa.

Entre estos Parques Nacionales, el bosque seco cuenta con diferentes edades de sucesión, producto de los esfuerzos de manejo y regeneración de antiguos pastizales en el ACG. Este segmento de la carretera se encuentra sobre la meseta de Santa Rosa, área de enlace entre los bosques premontanos de los volcanes Orosí, Cacao y Cerro el Hacha, y las tierras bajas de Santa Rosa. Esta área se considera un medio para el flujo de individuos y genes entre los Parques Nacionales Guanacaste y Santa Rosa.

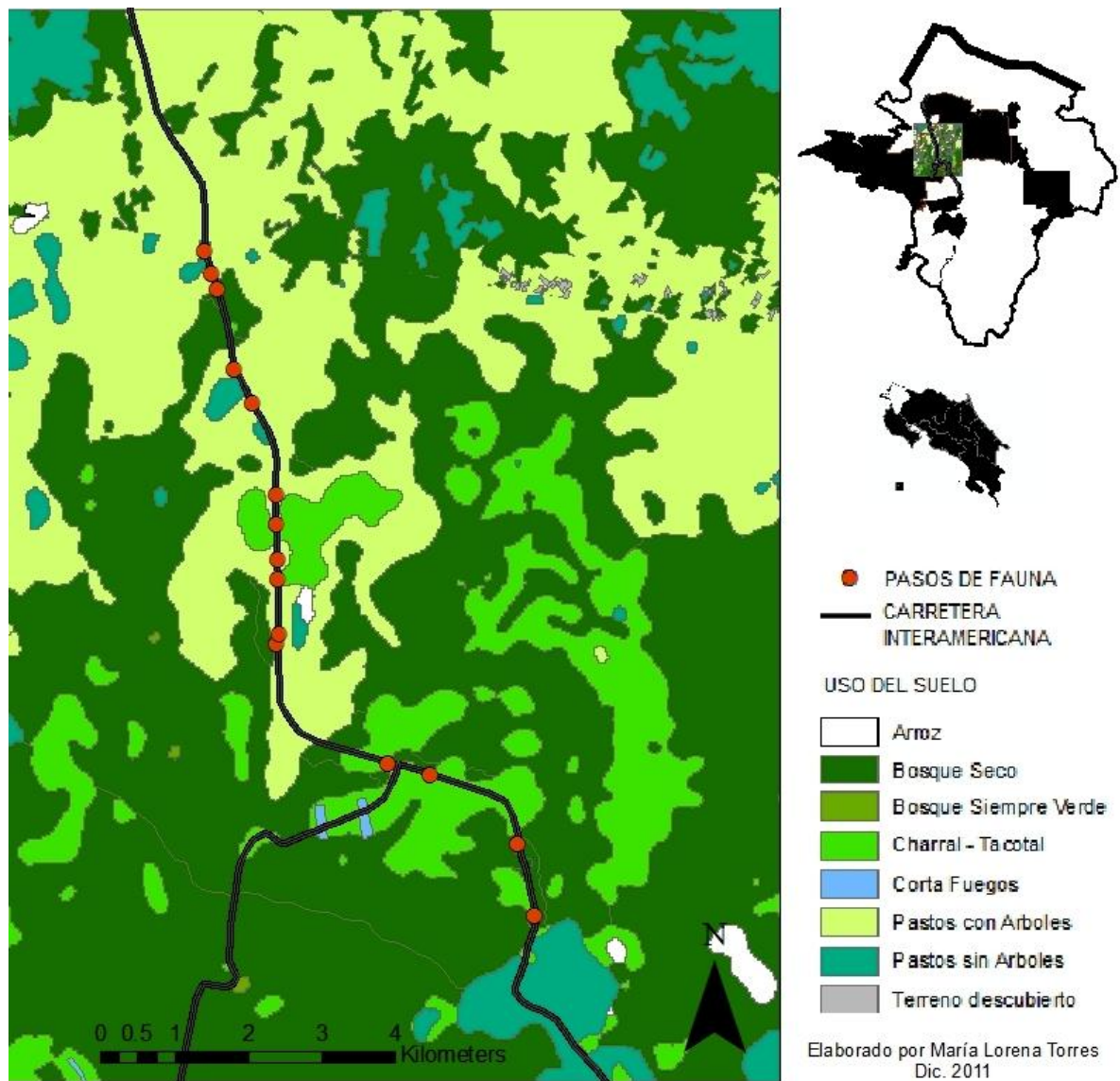


Figura 14. Usos del suelo del área segmentada por la Carretera Interamericana. ACG, Costa Rica.

En el ACG se ubican 15 pasos de fauna entre el kilómetro 265 y 277 de la Carretera Interamericana (Ruta N°1), dentro de un segmento de 12 km y una altitud de 279 msnm. Los pasos de

fauna se encuentran a lo largo de quebradas estacionales y drenajes de escorrentía, con pendientes de hasta 6 metros de profundidad desde el borde la carretera y mantienen una distancia entre sí de 147 m a 2240 m. Estos 15 pasos de fauna, permiten el desplazamiento hacia el lado opuesto de la carretera de 40 especies de vertebrados terrestres. Un conjunto de anfibios, reptiles, aves y principalmente mamíferos, están atravesando en forma frecuente la carretera y entre los Parques Nacionales Santa Rosa y Guanacaste.

Los usos del suelo en el ACG, llamados también hábitats en este estudio son: bosque seco, bosque siempre verde, charales y tacotales, bosque de manglar, pastos con árboles, pastos sin árboles, suelo desnudo, plantaciones de arroz, lagunas, playa y un área conocida como corta fuego (pasto vulnerable a quemas y a la vez barrera de expansión de incendios sobre el bosque seco). El ambiente inmediato a los pasos de fauna que mantienen cobertura vegetal, en muchos de los casos está conectada a la vegetación del otro lado de la carretera, y los usos del suelo asociados al margen de la carretera según el mapa de cobertura 2011 proporcionado por la Universidad Nacional (UNA) y el Instituto Internacional de Manejo y Conservación de Vida Silvestre (ICOMVIS) son, bosque seco, bosque siempre verde, charrales y tacotales, pastos con árboles, pastos sin árboles, cultivos de arroz, terreno en desnudo y corta fuego (Figura 14).

6.2.2 Métodos

La elección de las dos especies focales se realizó en consideración con la ocurrencia en los pasos de fauna y las recomendaciones del Ministerio de Ambiente Español (2006) que, en base a su experiencia para el manejo de impactos de las carreteras define a los grupos o especies de especial atención para el diseño de medidas de mitigación. Estas, son aquellas que pueden causar riesgos a la seguridad vial, con altos requerimientos de hábitat (sobre áreas continuas y no interceptadas por barreras), como herbívoros y carnívoros medianos y grandes, aquellos que realicen migraciones entre hábitats, las importantes para la conservación y/o que cuenten con programas establecidos de conservación o planes de recuperación.

De acuerdo a lo anterior, se seleccionó al ocelote, por ser una especie que demanda altos requerimientos de hábitat (entre el conjunto de especies usuaria de los pasos de fauna), además está considerado en peligro de extinción según la Ley de Conservación de la Vida Silvestre (MINAE 2005) y es un carnívoro que usa una amplia gama de hábitats boscosos. También se seleccionó a la guatusa, que además de ser el vertebrado mediano más abundante que ocupó los pasos de fauna en este sector de la Carretera Interamericana y, posiblemente ocupa intensamente el margen de la carretera. Además, es una especie clave en la dinámica y regeneración del bosque seco tropical, por ser una especie ligada

a procesos de dispersión de especies forestales importantes de este tipo de bosque, como guapinol, cenízaro, guanacaste (Hallwachs 2005).

El ámbito de hogar (*home range*) de un ocelote subadulto en etapa de predispersión obtenido de acuerdo al método del polígono mínimo convexo (MCP) fue de 1.14 km² a 1.87 km², y para un macho adulto hasta de 9.24 km² (Mares et ál. 2008). Sin embargo, el ámbito de hogar del ocelote en otros estudios en Centroamérica (Belize) es mucho mayor, entre los 16 a 30 km² (Dillon 2005). Datos bibliográficos, describen que el ocelote, en Costa Rica, prefiere hábitats de bosque húmedo, bosque seco, bosque secundario maduro, áreas agrícolas, y bosque de galería o ripario (INBIO, 2011^a). En Talamanca, el ocelote ha sido avistado en fincas cacaotales y bananales (Guiracocha 2000), además habita el bosque maduro en plantaciones de pino (*Pinus elliotis*), siempre que se encuentren embebidas en una matriz de bosque nativo (Biterri et ál. 2006).

Considerando los datos anteriores y en vista de que no existe descripción exacta de la presencia del ocelote en todos los usos de suelo del ACG, la asignación de conductancia se basó en el argumento de Harveson et ál. (2004), quienes indican, que el ocelote selecciona su hábitat en áreas con cobertura densa (>95%) sobre aquellas áreas con <75% de cobertura del dosel, a la vez, concluyen que la limitada disponibilidad de hábitat densos puede forzar al ocelote a usar áreas de menor densidad y por debajo de lo óptimo dentro de los requerimientos de la especie.

Cuadro 8. Valores de conductancia para el ocelote (*Leopardus pardalis*) en los usos de suelo asociados a la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Uso del suelo	Conductancia*
Bosque Seco	100
Bosque Siempre Verde	100
Charral - Tacotal	85
Corta Fuegos	75
Pastos con Arboles	60
Pastos sin Arboles	30
Arroz	0
Terreno descubierto	0

*Valores que tienden a 100 representan movilidad de la especie sin restricciones, valores que tienden a 0 se atribuyen a hábitats hostiles y de restricciones para el uso de la especie.

En base a lo anterior, y a consultas a expertos, se consideró que el bosque seco y siempre verde representan hábitats en los cuales la especie se moviliza sin resistencia (100%). Los tacotales y charrales en el ACG están embebidos en el bosque seco, y los registros de cobertura en la época seca en el área inmediata a los pasos de fauna fueron entre 70 y 80%. Por ello, se consideró como hábitat con conductancia igual a 85. Los corta fuego, se forman por dos franjas abiertas (pasto) de aproximadamente 140 m de ancho por 550 m de largo (cada una) en medio del bosque seco, charrales y tacotales. Considerando que el ancho de corta fuego puede ser fácilmente atravesado por un ocelote, se le asignó un valor cercano a los charrales y tacotales (75). Por otro lado, los pastos, abundantes alrededor del paso 15 (fuera del ACG), pueden presentar valores de cobertura bajos y ser un hábitat hostil para la especie. Pero, los pastos dentro de los límites del ACG, están abandonados desde hace tiempo. En base a lo anterior, se consideró un valor de 60 a los pastos arbolados y 30 a los pastos sin árboles. Los arrozales y terreno descubierto son considerados hábitats en extremo hostiles para el ocelote por lo que no presentan ningún aporte para conectar a las poblaciones de esta especie (Cuadro 8).

Para el caso de la guatusa, Aliaga-Rossel (2004) registró que el ámbito de hogar para un macho fue de 2.02 a 4.36 ha, y para las hembras de 1 a 2.41 ha. En un estudio realizado en el bosque seco (Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica), se estimó que el ámbito de acción es de 3.9 ha. (Rodríguez y Vaughan 1985), y Hallwachs (1986) para Santa Rosa (PNSR) estimó de 4 a 6 ha. Las preferencias de hábitat de la guatusa son, el bosque húmedo, bosque seco, bosque secundario maduro y bosque de galería (INBIO 2011^b). Janzen (1991) menciona que las guatusas en Costa Rica son comunes en bosques sin alterar, bajo los 2000 msnm, desde los bosques secos caducifolios hasta los más húmedos y puede ser vistas en manglares durante la marea baja. En Santa Rosa habita los bosques primarios y secundarios (Hallwachs 2005). En Talamanca, la guatusa en densidades mínimas ha sido avistada en fincas cacaotales y banales (Guiracocha 2000) y observaciones personales indican que la guatusa puede registrarse en jardines muy cerca de la playa.

En vista de la diversidad de ambientes en donde la guatusa puede distribuirse, y considerando que la guatusa ocupó los charrales-tacotales, pasto arbolado y bosque seco a los márgenes de la carretera, y que su ocupación en los pasos fue alta, los valores de conductancia para los usos, bosque seco y bosque siempre verde tuvieron el valor máximo, al charral – tacotal, se le asignó un valor de 90, los pastos con árboles obtuvieron un valor de 45, el corta fuego 35 ya que no siempre la guatusa tendrá una alta probabilidad de encontrar recursos en el área de prevención de incendios (mayor frecuencia de quemas), en los pastos sin árboles la conductancia asignada fue de 20. Se asumió que los arrozales y el

terreno descubierto no representan una fuente de recursos para la guatusa, y si tuviera que atravesar parches con este uso del suelo, seguramente la especie bordearía hábitats menos hostiles (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores de conductancia para la guatusa (*Dasyprocta punctata*) en los usos de suelo asociados a la Carretera Interamericana que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Uso del suelo	Conductancia*
Bosque Seco	100
Bosque Siempre Verde	100
Charral - Tacotal	90
Corta Fuegos	35
Pastos con Arboles	45
Pastos sin Arboles	20
Arroz	0
Terreno descubierto	0

*Valores que tienden a 100 representan movilidad de la especie sin restricciones, valores que tienden a 0 se atribuyen a hábitats hostiles y de restricciones para el uso de la especie.

Una vez que se determinó los valores de conductancia, se identificó como el área de interés para el modelo parte de la meseta de Santa Rosa. La meseta de Santa Rosa representa un hábitat homogéneo para la movilidad del ocelote y guatusa, es decir se puede realizar un modelo simple que no requiera de otras variables del paisaje como el relieve, altura sobre el nivel del mar, o composición propia de la vegetación. Además de que en este estudio el interés sobre los procesos de movilidad recae en los márgenes de la Carretera Interamericana.

Se usó un mapa de usos del suelo escala 1:40000 derivado de una imagen Landsat de abril de 2011, 30 metros de resolución como insumo para el modelaje. En el programa ArcMap 9.3 (ESRI 2011), se elaboró el mapa de usos del suelo (área rectangular de 14 x 13.5 km) derivado del mapa anterior cual se obtuvo dos archivos de tipo grid (raster), con una resolución o tamaño de celda de 10 m. El primero de los archivos se elaboró codificando a cada celda con los valores de conductancia asignados a cada uno de los usos del suelo y, para cada una de las especies. El segundo archivo, definió dos parches focales, uno a cada lado de la carretera; estos parches fueron seleccionados considerando

el área para la cual se requería conocer la ubicación de rutas que conecten los parches de bosque seco más cercanos a ambos lados de la carretera.

Se utilizó el programa Circuitscape 3.4.5 (McRae y Shah 2008) para obtener el mapa final de conectividad sobre el área de interés para cada especie. Al ser el área de interés, la zona inmediata a la carretera se seleccionó la modalidad de análisis por parejas (*pairwise*), es decir el análisis de conectividad mide la corriente entre cada pareja de parches, y como solamente se analizaron dos parches (uno a cada lado de la carretera) se consideró a cada parche focal como región (*focal regions*). La agrupación de hábitats o clases de parches se realizó en base a las reglas de agrupación de cuatro y ocho vecinos, estas reglas se aplican a cada pixel (celda o grid) del mapa e indican que determinada celda se agrupe a otra de igual categoría siempre que compartan al menos un lado de la celda (4 vecinos) o, a más de compartir un lado, tengan en común una diagonal (8 vecinos).

Lo anterior quiere decir que, al momento en que la corriente en una celda no puede desplazarse hacia un cuarto u octavo vecino (celda) la conductancia cae en el nodo de dicha celda, lo que a su vez interrumpe conexiones. Las reglas de agrupación de pixeles homogéneos fueron dadas por la regla de 4 vecinos para el caso de la guatusa y de ocho vecinos para el caso del ocelote. Las reglas de agrupación obedecieron a la comparación de las características de vagilidad de cada especie, siendo el ocelote un carnívoro con demandas de hábitat mayores que la guatusa y mayor capacidad de movimiento o amplitud en su rango de hogar, la conexión tiene mayor facilidad de darse o lo que es lo mismo, la especie es capaz de atravesar matrices más grandes (Figura 15). Por último, las áreas de cruce efectivo para las especies (pasos de fauna) sirvieron como prueba de los modelos.

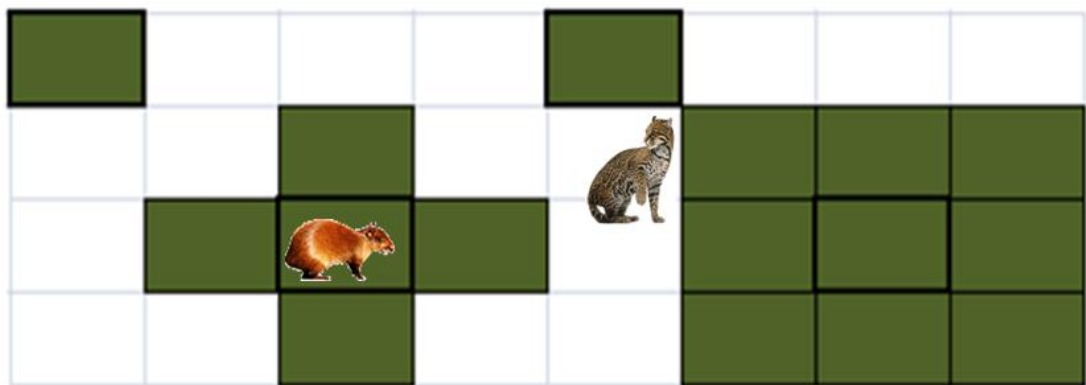


Figura 15. Reglas de agrupación de pixeles usadas para la guatusa y ocelote: el movimiento de la guatusa se limita hacia celdas que no se conectan con uno de los cuatro lados de la celda a la cual se aplica la regla de 4 vecinos. El ocelote es capaz de atravesar hacia otras celdas en diagonal (regla de ocho vecinos).

6.3 RESULTADOS

Los modelos de conectividad funcional del ocelote (Figura 16), así como el de la guatusa (Figura 17) indican áreas en las cuales el movimiento de las especies tiene altas probabilidades de darse y en donde no existen pasos de fauna. Las áreas entre el paso 4 y 5, 10 y 11, y entre el 12 y 13, se muestran con igual valor de conexión que áreas en las cuales se registró a la especie cruzando a través de pasos de fauna (puntos verdes en el mapa).

En el mapa correspondiente al ocelote resalta un área mayor de conexión alrededor de la carretera, y los valores de corriente son más altos que los reportados para la guatusa con excepción de los pasos uno y dos, en donde la guatusa presenta mayor corriente o conexión. De acuerdo a la teoría de metapoblaciones las especies que son más móviles (como el ocelote para este estudio), estarían mejor capacitadas para manejar la pérdida de hábitat, factor que se observa en el mapa del ocelote al comparado con el de la guatusa. En base a lo anterior, y de acuerdo a estudios de la ecología del camino, al ser la mortalidad más alta en la matriz (existe mayor probabilidad de que en medio de esta matriz se presenten carreteras) las especies de mayor movilidad son más vulnerables a la fragmentación y pérdida de hábitat (Clevenger y Huijser 2011).

Es importante notar que toda el área en medio de los Parques Nacionales Santa Rosa y Guanacaste no interrumpe la movilidad del ocelote, esto teniendo en cuenta que, hubo registros de la especie en lugares marcados con menor conductancia (pasos 8, 14 y 15). La ubicación de los pasos de fauna coincide en gran medida con las áreas de mayor conectividad para el ocelote, tan solo una de las áreas de conexión no cuenta con pasos de fauna (flecha al norte). En la parte sur de la carretera, en donde la conectividad es marcada y continua (pasos 1 a 4), los pasos de fauna cuentan con una ubicación precisa ya que los cuatro pasos se ubican en quebradas estacionales, las cuales mantienen bosque ripario a sus bordes y, en la época seca son usadas como caminos o senderos de félidos principalmente. Sin embargo, en esta área se podría mejorar la movilidad de esta y otras especies teniendo en cuenta dos áreas más con ausencia de pasos de fauna (flechas negras al sur).

Para el caso de la guatusa, la conectividad en el área inmediata a la carretera es menor a la del ocelote en términos de conductancia, sin embargo, la mayor parte del área puede considerarse conectada para la especie. Esto, si se considera que hasta el paso seis la frecuencia de cruce de guatusas fue mayor que en los pasos 8, 9 y 10, y que existen registros de cruce en áreas de menor conectividad (paso 11). Tomando en cuenta lo anterior, las áreas para tener en cuenta al momento de elaborar medidas de mitigación se concentran en la parte sur de la carretera (ver flechas en negro).

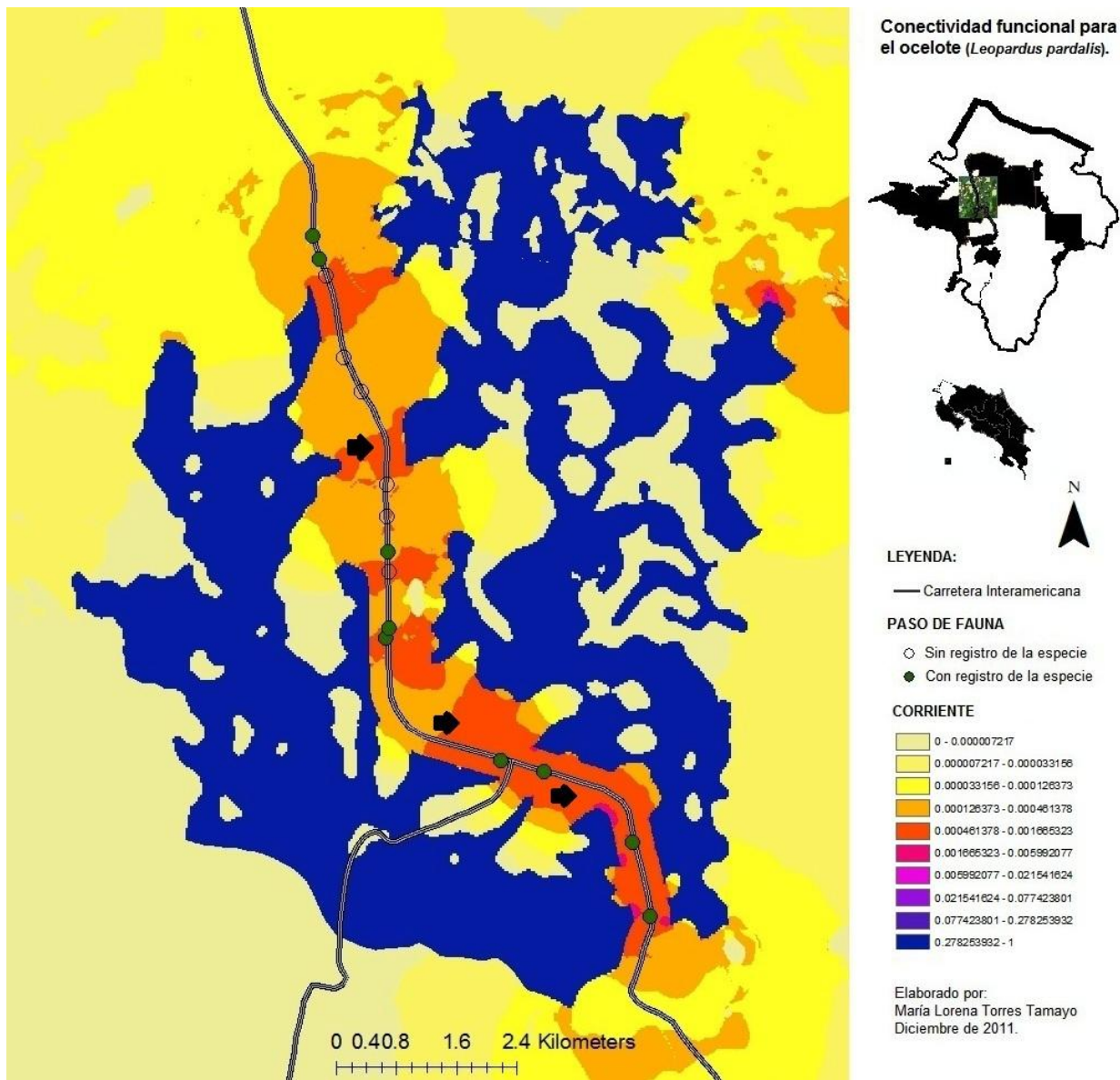


Figura 16. Mapa de conductividad funcional (movilidad) del ocelote, en un segmento de la Carretera Interamericana que cruza el Área de conservación Guanacaste, Costa Rica. Flechas en negro indican alta conectividad y ausencia de pasos de fauna.

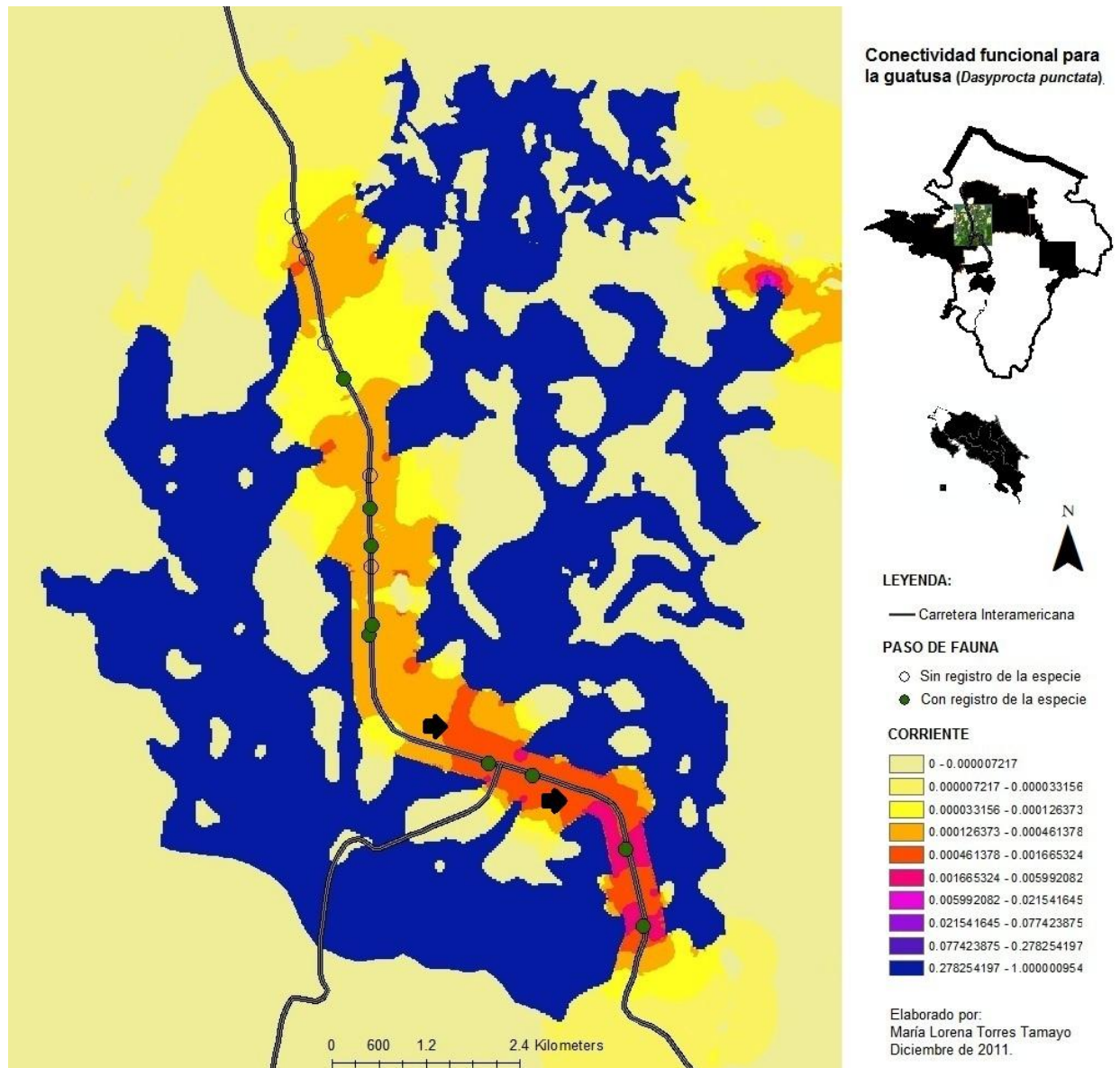


Figura 17. Mapa de conductividad funcional (movilidad) de la guatusa, en un segmento de la Carretera Interamericana que cruza el Área de conservación Guanacaste, Costa Rica. Flechas en negro indican alta conectividad y ausencia de pasos de fauna.

6.4 DISCUSIÓN

El movimiento es esencial para la sobrevivencia de la vida silvestre, los individuos se mueven en busca de alimento, refugio o pareja, realizan dispersiones para encontrar nuevos sitios o migrar estacionalmente y encontrar condiciones más favorables para su desarrollo. Sin embargo, estos movimientos también están sujetos a impedimentos o barreras como las carreteras, vías de tren, represas, canales de irrigación, desarrollo urbano y la agricultura (South Coast Wildlands 2008). De

acuerdo a Jackson y Griffin (2000), los pasos de fauna son infraestructuras utilizadas para la mitigación de impactos de las carreteras y, para que las carreteras aporten permeabilidad al paisaje, es necesario localizar los lugares en donde la movilidad de las especies tiene mayor probabilidad de ocurrir y, ubicar los pasos de fauna en dichos lugares. En el ACG, al parecer, gran parte de los pasos de fauna se ubican en áreas con buena conectividad para la guatusa y ocelote; sin embargo hay sectores con buena conectividad que carecen de pasos de fauna.

En la Carretera Interamericana que cruza el ACG, existen pocas áreas de alta conectividad con ausencia de pasos de fauna, y siendo uno de los objetivos de un mapa de conectividad identificar áreas en donde la conservación de la conectividad puede usarse para mitigar los impactos de proyectos que podrían reducirla (Beier et ál. 2010). En este estudio se han identificado tres puntos sobre la carretera interamericana sin pasos de fauna con alta probabilidad de movimiento y conectividad de poblaciones de las especies focales (guatusa y ocelote), y probablemente otros mamíferos de mediano tamaño. Es importante tener en cuenta, que estas áreas, consideradas relevantes para la conectividad y mejoramiento de la permeabilidad de la carretera están siendo representadas a través de dos factores fundamentales, la preferencia de hábitat de las especies y la ocurrencia de estas en los pasos de fauna, pero pueden existir otros factores no incluidos en este modelo que pueden tener influencia en la movilidad y distribución de las especies.

Para que se tomen las mejores medidas de manejo se deben considerar los datos de mortalidad sobre la carretera y si es que la actual carretera llega a ampliarse, considerar también el efecto ecológico de estos rasgos (tamaño y características de la nueva carretera). Clevenger y Huijser (2011) señalan que la importancia ecológica de una carretera depende de algunos aspectos como, el tipo de camino, su localización o el número de vehículos que viajan sobre él. De lo anterior se asume que, los modelos de conectividad se ven beneficiados cuando existen estos estudios, y que los modelos que se presentan en este documento dan una idea del estado de conectividad de las funciones entre el PNG y PNSR pero deben ser probados con mayor número de datos empíricos en el futuro.

Uno de los objetivos de la creación del Parque Nacional Guanacaste fue utilizar las porciones remanentes de bosque seco como semillero para regenerar un área de bosque de aproximadamente 700 km² y proporcionar refugio a las especies y rutas migratorias durante la estación seca (Janzen 1986). Siendo así, es importante resaltar que los pasos de fauna, no solamente están siendo de utilidad para las especies focales de este estudio, sino que lo son para las 40 especies registradas usando los pasos de fauna (vertebrados terrestre). Además, Janzen (1986), consideró que muchos animales del bosque seco utilizan las áreas húmedas del bosque virgen caducifolio en el Cerro el Hacha (extremo norte del Parque Nacional Guanacaste) y las laderas siempre verdes de los volcanes Orosí y Cacao, que para

entonces a lo largo de la Carretera Interamericana formaron una barrera de pastizales entre Santa Rosa y los volcanes, motivo por el cual, se cree que desaparecieron los cariblanco (*Tayassu pecari*) en el PNSR.

Actualmente, luego de todos los esfuerzos de conservación en el ACG, se han vuelto a registrar especies como saínos y jaguares cerca de la carretera, razón por la cual se esperaría que la riqueza de especies y frecuencia de uso de los pasos de fauna aumente conforme las prácticas de conservación del ACG se mantengan. Es importante tener en cuenta que lo anterior, también podría aumentar las tasas de mortalidad debidas a los atropellamientos vehiculares. Por lo tanto, además de trabajar en la regeneración del bosque, se deberían tomar acciones de manejo y ejecutar medidas de mitigación para reducir el riesgo de colisiones fauna-vehículo tomando en cuenta los resultados de los estudios de atropellos que se realizan en el ACG.

Especies como mapaches y osos hormigueros son atropellados en la carretera (en los 12 km, área de este estudio) en las curvas ubicadas entre los pasos de fauna 4 y 5, y los pasos 2 y 3 respectivamente, debido a que los tres puntos de alta mortalidad de zarigüeyas y armadillos se localizan sobre curvas (Sáenz, datos sin publicar). Es posible que la mortalidad esté asociada al trazado de la carretera. Malo et ál. (2004) argumentan que sobre tramos de la carretera sinuosos, los conductores de vehículos y la fauna no tienen el tiempo de respuesta suficiente para observar y evitar colisiones; es en estas áreas en donde se deben orientar medidas de mitigación (pasos de fauna, manejo del paisaje, cercas de desvío de la fauna, o una combinación de estos) frente a una alta probabilidad de atropellos.

La guatusa, es una especie que usa su ámbito de hogar en respuesta al patrón o disponibilidad de frutos, situación que la obliga a realizar constantes patrullajes mientras busca alimento, y que, dependiendo de la distancia a las fuentes de alimento, amplía o no su ámbito de hogar (Aliaga-Rossel 2004). Las estructuras de cruce (pasos de fauna) representan solo una pequeña porción dentro de una red de hábitat conectado o corredor de movimiento (South Coast Wildlands 2008). De acuerdo a esto, podrían existir pasos de fauna ubicados en áreas en donde la conectividad o los requerimientos de las especies están ausentes. Lo anterior podría explicar la ausencia del uso de estructuras grandes (~3 m) sobre la parte norte del ACG. Los pasos 10 y 13, no fueron utilizados por guatusas u ocelotes, pese a que su forma y tamaño son semejantes a los pasos más usados (pasos 1 a 4). Además de una diferencia en la proporción del bosque seco alrededor de los diferentes pasos de fauna, las etapas de regeneración del bosque (no analizadas en este estudio), pueden considerarse como razones para que una especie no transite por ellos.

Teniendo en cuenta que el PNG se estableció sobre tierras con diferentes intensidades de fragmentación (fincas y potreros), y en los últimos años las medidas de conservación han revertido pastos a bosques jóvenes, la regeneración del bosque seco en todo el ACG está jugando un rol fundamental en la dinámica de colonización de los parches regenerados. Tal como lo indica Taylor (2001), las modificaciones de la matriz pueden proveer oportunidades para reducir el aislamiento de parches y reducir el riesgo de extinción de poblaciones en paisajes fragmentados. En base a lo anterior y teniendo en cuenta que el área de bosque seco alrededor de los pasos de fauna va disminuyendo progresivamente a medida que se avanza hacia el norte, se asume que las poblaciones del área más septentrional, no mantienen igual recuperación que las del sur, lo que se evidencia en la frecuencia de cruces y en la no ocupación de ciertos pasos (12 a 15 en el caso de la guatusa).

El hecho de que dentro del ACG existan áreas en las cuales existe mayor conectividad de las funciones ecológicas, las decisiones de conservación de la conectividad podrían concentrarse en el área sur del ACG; sin embargo, no se puede eliminar el efecto que la regeneración del bosque en el PNG pueda tener en un futuro sobre las poblaciones de la fauna que se mueve cerca de la carretera. Además los hábitats homólogos pero en diferentes etapas de sucesión pueden estar siendo usados de forma diferente por las especies.

Otros pasos de fauna que la guatusa y ocelote no visitaron fueron los pasos 7 y 12. Al comparar registros fotográficos de estos pasos con el estado actual de los mismos, se comprobó que recientemente fueron restaurados (aproximadamente hace dos años). En estas estructuras se cambió el material (metal corrugado a cemento) y se construyeron muros de contención, antes ausentes. Teniendo en cuenta que las especies seleccionan un paso de fauna de acuerdo a sus necesidades ecológicas y de comportamiento (Clevenger y Waltho 2005), y estos pueden indicar que el estado de los pasos de fauna influye en su uso y, que frente a las modificaciones de estas estructuras las especies tardarán un tiempo antes de usarlas (Clevenger y Huijner 2011).

Este supuesto se corrobora al observar el paso 15, en él existe un paso de metal corrugado de igual forma y separado por 35 m de su vecino, pero deteriorado, en el cual se colocó una cámara control (paso no incluido en este estudio por razones de independencia espacial). En todo el período que se mantuvo una cámara en este paso, no se registró ningún individuo cruzando, a diferencia de la cámara en el paso siguiente que si registró especies incluido al ocelote.

Asumiendo que en el ACG existen áreas en las cuales hay una conectividad “casi homogénea”, pero en algunos pasos de fauna no se registró el cruce de individuos, es posible que otros factores estén influyendo en los cruces de individuos, y que se deban a los rasgos estructurales de los pasos. En

relación a lo anterior, los hallazgos de Corlatti et ál. (2009) indican que para pequeños carnívoros drenajes de 0.79 m de diámetro con un adecuado cerco, son eficientes y para la mayoría de carnívoros grandes y venados una estructura de 3 m es considerada mínima, es decir, algunos pasos en el ACG pueden ser inútiles para ciertas especies. Por ejemplo, en este estudio, el ocelote, carnívoro de tamaño mediano, no fue registrado usando los pasos 9 y 11, posiblemente por ser de diámetro reducido (0.6 m) no le resulta atractivo atravesarlos.

Entre los datos de atropellos de fauna en el ACG reportados por Sáenz (datos sin publicar) no se encontraron registros de atropellos de guatusas sobre el área de este estudio (12 km), pero si, dos registro de atropello de ocelotes (se excluyen a los registrados por el personal del ACG). Estos registros sucedieron fuera de los 12 km de estudio de este trabajo, y fuera de los límites de los Parques Santa Rosa y Guanacaste. Uno de estos puntos, se ubica a 2 km norte del paso 15, en donde el paisaje alrededor comprende fragmentos de bosque seco, el más cercano con un área de 2 km² en medio de una matriz de pastos con árboles, y otro pequeño parche de bosque a no más de 0.7 km. Lo anterior indica que sobre los fragmentos de bosque dispersos sobre los límites del ACG (parches no incluidos en el modelo de conectividad) la conectividad de un paisaje depende de la presencia de corredores de movimiento o *stepping stones* de hábitats naturales entre los fragmentos y la resistencia de la matriz entre los parches (Fahrig y Merriam 1994, Joly et ál. 2001). Resistencia que probablemente es mínima para el ocelote en las áreas cercanas a los límites de los Parques Nacionales Santa Rosa y Guanacaste.

Si los pasos de fauna están bien diseñados llegan a ser un medio que hace de las carreteras áreas permeables para el movimiento de la vida silvestre y ser compatibles hasta cierto grado con los objetivos de desarrollo vial y de conservación (South Coast Wildlands 2008). Sin embargo, no basta con diseñar un paso de fauna bien hecho, ya que estos solo pueden ser efectivos con estrategias de manejo de la tierra y recursos alrededor de él, además que, los hábitat apropiados para las especies focales deben ocurrir a ambos lados de la estructura de cruce (Clevenger y Waltho 2005). Por otro lado, se debe tener muy en cuenta las perturbaciones sobre los patrones naturales de movimiento de los animales por caminos, u otros impedimentos que pueden alterar las funciones esenciales del ecosistema y conducir a la pérdida de especies o servicios del ambiente. En el ACG, los factores que en el futuro pueden cambiar la dinámica de movimiento entre los parches son los incendios y una posible ampliación de la Carretera Interamericana. Estos factores pueden ser mitigados, de la misma manera en que son manejados actualmente (para el caso de los incendios) e incluyendo dentro de la agenda de conservación del ACG acciones puntuales de conservación de la conectividad y reducción de los efectos de la Carretera Interamericana, como los atropellos de animales en la carretera.

El impacto de las carreteras se incrementa a medida que aumenta el tráfico (van Langevelde et ál. 2009), por lo que la localización precisa de medidas de mitigación es importante ya que el costo de estructuras físicas (pasos sobre la carretera) limita su instalación a cierto número, pero si estos están bien ubicados pueden ser eficientes (Malo et ál. 2004). Para delimitar bien estos pasos, además de tener en cuenta la conectividad del paisaje hay que tener presente factores asociados al comportamiento de las especies. Clevenger et ál. (2001) basados en estudios de preferencia de estructuras y rasgos asociados al paisaje, recomiendan que para mejorar la permeabilidad de una carretera para pequeños y medianos mamíferos las estructuras de cruce, deben estar ubicadas en forma más continua, entre 150 m y 300 m de distancia entre sí.

En el ACG los pasos de fauna se disponen entre 147 m a 2240 m, ubicándose dos áreas con menor densidad de pasos de fauna, la primera y más extensa ubicada precisamente en donde mayor conectividad se muestra en los modelos de movilidad (pasos 1 a 3, y 4 a 5), y la segunda, con un área entre los pasos de más de 1000 m (entre los pasos 10 y 11, y 12 al 13). En base a lo anterior, para que la carretera tenga una buena permeabilidad para mamíferos pequeños y medianos en el ACG se demandaría de varias estructuras de cruce para la vida silvestre. Considerando además los estudios de Mata et ál. (2003), Clevenger y Wierzchowski (2006), quienes mencionan que para ungulados y grandes carnívoros las estructuras de cruce deben localizarse a no más de 1500 m de distancia, la permeabilidad de la Carretera Interamericana en el tramo que cubre este estudio estaría relativamente bien representada con el número de pasos de fauna actuales, siempre y cuando las estructuras de tamaño pequeño (pasos del 5 al 9, 11, 12, 14 y 15), sean adecuadas y permitan el fácil acceso de mamíferos grandes.

6.5 CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL MANEJO

La conectividad entre los parches de bosque seco adyacentes a la carretera en el ACG se mantiene casi en forma homogénea, los pasos de fauna 1 a 4 se ubican en zonas en las cuales el paisaje está altamente conectado, y a medida que se avanza hacia el norte de la carretera la conectividad se restringe a zonas puntuales de movimiento de las especies. Por otro lado, la alta probabilidad de que las especies atraviesen por la zona sur, induce a cuestionarse si la densidad de pasos de fauna es suficiente en este momento, y si lo será cuando la carretera sea ampliada y el mayor volumen de vehículos aumente las probabilidades de muerte sobre ella.

En cuanto a lo anterior, las consecuencias de un efecto barrera severo sobre el área de estudio no son evidentes con el actual volumen de tráfico, pero si la carretera se llegara a ampliar, no solo sería

la oportunidad de mejorar las redes de transporte en la región, sino también de incorporar medidas de mitigación de los efectos que una carretera de 4 carriles tiene sobre la vida silvestre. Las decisiones de manejo que la administración del ACG debe tomar frente a esto, pueden basarse en los resultados de este estudio, y también en el resto de estudios que se realizan sobre la Carretera Interamericana; y de ser posible, incluir en la agenda de investigación otros estudios que lleguen a medir los efectos de la carretera sobre las poblaciones de fauna asociadas a ella.

La ubicación de áreas críticas para la conservación de la conectividad y de las funciones del movimiento del ocelote y la guatusa en este estudio, pueden reflejar también las características o requerimientos de movilidad de otros mamíferos de mediano tamaño. Si se llegaran a establecer otros pasos de fauna en puntos de alta movilidad, y dar un manejo a las estructuras actuales de modo que, permitan una mayor utilidad para las especies asociadas al margen de la carretera, no solo se estaría facilitando el cruce de las especies por estos lugares, si no también aportando con otras funciones de las especies como son la dispersión de semillas, recolonización de áreas restauradas, y mantenimiento de la viabilidad genética entre poblaciones.

En cuanto a la dispersión de semillas, conociendo la capacidad de dispersión que la guatusa tiene sobre la especie arbórea guapinol (*Hymenaea courbaril*) y otras especies típicas del ACG, se intentó probar si el paso de fauna a la vez de facilitar el cruce de guatusas, también facilita el traslado de semillas de un lado a otro de la carretera, para ello se colocó frutos de guapinol en una de las entradas del paso de fauna (número 6). El resultado fue que las guatusas movieron las semillas a través del paso, e incluso se alimentan dentro y fuera de los pasos de fauna.

La forma de los pasos de fauna y su tamaño depende de factores como la topografía del terreno y rasgos de la carretera. Si la carretera está elevada en relación al terreno adyacente, o al nivel rivereño como es el caso de la Carretera Interamericana en el ACG, los tipos de pasos de fauna que pueden instalarse son pasos inferiores, alcantarillas modificadas y túneles para anfibios o reptiles (Clevenger y Huijser 2011).

Siendo los pasos de fauna en el ACG alcantarillas, estas al ser modificadas podrían ser utilizadas por un mayor número de mamíferos de tamaño medio de alta movilidad, baja movilidad, mamíferos semiacuáticos, pequeños mamíferos, anfibios y reptiles. Lo anterior representaría un aumento de la eficiencia de estas estructuras a un menor costo de inversión, a diferencia de construir nuevos pasos de fauna (pasos prediseñados o específicos). Clevenger y Huijser (2011) sugieren entre varias recomendaciones para establecer pasos de fauna, que las dimensiones para alcantarillas modificadas debe tener preferiblemente 1 m de ancho con una entrada de luz mayor a 1.5 m (alto), es

decir al menos 10 de las 15 estructuras presentes en el ACG, podrían aumentar las tasas de cruce de especies con adecuaciones de la forma y materiales, al momento en que se amplíe la carretera. Otras medidas generales a tomarse en el caso de una ampliación de la carretera se presentan en el Anexo 5.

6.6 LITERATURA CITADA

- ACG, CR. 2008. Área de Conservación Guanacaste homepage (en línea). San José, CR. Consultado nov 1. 2010. Disponible en: http://www.acguanacaste.ac.cr/1999/frame_que_es_acg.html
- Aliaga-Rossel, E. 2004. Landscape use, ecology and *home rage* of the agouti (*Dasyprocta punctata*). Thesis Mag. Sc. State University of New York.Syracuse, Ney York. 103p.
- Beier, P; Majka, D; Spencer, W. 2008. Forks in the road: Choices in procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology* 22(4)836-851.
- Beier, P; Spencer, W; Baldwin, R; MacRae, B. 2010. Toward best practices for developing regional connectivity maps. *Conservation Biology* 25(5)879-892.
- Beckman, J; Clevenger, A; Huijser, M; Hilty J. (eds.) 2010. Safe passages highways, wildlife, and habitat connectivity. Island Press. Washington DC. 396p.
- Bissonette, J; Cramer, P. 2008. Evaluation of use and effectiveness of wildlife crossings. Transportation Research Board. Washington D.C. 174p.
- Bitteri, M; Paviolo, A; De Angelo, C. 2006. Density, habitat use and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in the Atlantic Forest of Misiones, Argentina. *Journal of Zoology* 270-153:163.
- Clevenger, A; Chruszcz, B; Gunson, K. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology* 38:1340-1349.
- Clevenger, A; Waltho, N. 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation* 121:453-464.
- Clevenger, A; Wierzchowski, J. 2006. Maintaining and restoring connectivity in landscapes fragment by roads. Chapter in K. R. Crooks and M.A, Sanjayan, (eds). *Connectivity conservation: maintaining connections for nature*. Oxford University Press. 502-534p.

- Clevenger, A; Huisner, M. 2009. Handbook for design and evaluation of wildlife crossing structures in North America. W. transportation institute (Ed.). Washington D.C. Federal highway administration. 212p.
- Clevenger, A; Huijser, M. 2011. Wildlife crossing structure handbook design and evaluation in North America. Technical report No. FHWA-CFL/TD-11-003. Western Transportation Institute. Bozeman – United States of America. 223p.
- Corlatti, L; Hackländer, K; Frey-Roos, F. 2009. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. *Conservation Biology* 23(3)548-556.
- Dillan, A. 2005. Ocelot density and home range in Belize, Central America: Camera-trapping and radio telemetry. M. Sc dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. 89p.
- ESRI. 2011. ArcMap 9.3. ESRI Inc. (en línea) Disponible en: www.esri.com
- Farina, A. 2006, Principle and methods in landscape ecology: Towards a science of landscape. Springer publisher. Dordrecht, The Netherlands. 412p.
- Fahrig, L; Merriam, G. 1994. Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology* 8(1)50-59.
- Forman, R; Sperling, D; Bissonette, J; Clevenger, A; Cutshall, C; Dale, V; Fahrig, L; France, R; Goldman, C; Heanue, J; Jones, J; Swanson, F; Turrentine, T; Winter, T. 2003. Road ecology science and solutions. Washington DC. 481p.
- Guiracocha, G. 2000. Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77p.
- Hallwachs, W. 1986. Agouties (*Dasyprocta punctata*) the inheritors of guapinol (*Hymanaea courbaril*: Legumisoae). Pp. 285-304, In: A. Estrada & T.H. Flemming (eds.). Frugivores and seed dispersal. W. Junk, Dordrecht.
- Hallwachs, W. 2005. La guatusa en la sequía del verano en el bosque seco. *Revista informativa Rothschildia* 2(1) (en línea). Consultado nov. 20 2011. Disponible en: <http://www.acguanacaste.ac.cr/rothschildia/v2n1/index.html>

- Harveson, P; Tewes, M; Anderson, G; Laack, L. 2004. Habitat use by ocelots in south Texas: implications for restorations. *Wildlife Society Bulletin* 32(3):948-954.
- INBIO 2011^a. *Leopardus pardalis*. Especies de Costa Rica (en línea). Consultado nov. 5 de 2011. Disponible en: <http://darnis.inbio.ac.cr/ubis/FMPro?-DB=ubipub.fp3&-lay=WebAll&-error=norec.html&-Format=detail.html&-Op=eq&id=1695&-Find>.
- INBIO 2011^b. *Dasyprocta punctata*. Especies de Costa Rica. (en línea). Consultado nov. 5 de 2011. Disponible en: <http://darnis.inbio.ac.cr/FMPro?-DB=UBIpub.fp3&-lay=WebAll&-Format=/ubi/detail.html&-Op=bw&id=1641&-Find>.
- Jackson, S; Griffin, C. 2000. A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. p 143-159 in T.A. Messmer and B. West (eds) *Wildlife and highways: Seeking solutions to an ecological and socio-economic dilemma*. The Wildlife Society.
- Janzen D. 1986. Parque Nacional Guanacaste. Restauración ecológica y cultural en el trópico. San José. CR. 117p.
- Janzen, D. (ed). 1991. *Historia Natural de Costa Rica*, Traductor Manuel Chavarría. Editorial Universidad de Costa Rica, 1991, San José, CR. 822p.
- Joly, P; Miaud, C; Lehmann, A; Grolet, O. 2001. Habitat matrix effects on pond occupancy in newts. *Conservation Biology* 15: 239-248
- Kramer, S; Revilla, E; Thorsten, W; Breitenmoser, U. 2004. Fragmented landscapes, road mortality and patch connectivity: modeling influences on the dispersal of Eurasian Lynx. *Journal of Applied Ecology*, 41, 711:723.
- Leiva, J; Rocha, J; Mata, R; Gutierrez-Soto, M. 2009. Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Rev. Biol. Trop.* 57 (3):817-836.
- McRae, B; Shah, V; 2008. Circuitscape version 3.4.5. software (en línea) Disponible en <http://www.circuitscape.org>.
- McRae, B; Dickson, B; Keitt, T; Shah, V; 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation. *Ecology* 89(10):2712-2724.

- Malo, J; Suárez, F; Díez, A. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology* 41(4):701-710.
- Mares, R; Moreno, R; Kays, R; Wikelski, M. 2008. Predispersal *home range* shift of an ocelot *Leopardus pardalis* (Carnivora: Felidae) on Barro Colorado Island, Panama. *Revista de Biología Tropical* 56(2), 779-87.
- Mata, C; Hervás, I; Herraz, J; Duárez, F; Malo, J. 2003. Effectiveness of wildlife crossing structures and adapted culverts in a highway in northwest Spain. Chapter 8. Habitat connectivity: monitoring of crossing structures. ICOET Proceedings making connections.
- MINAE. 2005. Reglamento a la Ley de Conservación de la Vida Silvestre. N° 32633.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2006. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte. Número 1. O.A. Parque Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. 112 pp. Madrid.
- Rodríguez, J; Vaughan, C. 1985. Notas sobre la ecología de la guatusa (*Dasyprocta punctata* Grey) en el Bosque Seco Tropical de Costa Rica. *Brenesia*. 24:353-356.
- Sáenz, J. datos sin publicar. Informe técnico. Mortalidad de fauna vertebrada en la carretera Interamericana Norte. Área de Conservación Guanacaste. CR.
- South Coast Wildlands. 2008. South Coast Missing Linkages: A wildland network for the south coast ecoregion. Produced in cooperation with partners in the South Coast Missing linkages initiative. Available online <http://www.scwildlands.org>. 67p.
- Taylor, P; Fahrig, L; Henein, K; Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68:571-573.
- Taylor, R. 2001. The matrix matters: Effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist* 158(1):87-99.
- van Langevelde, F; van Dooremalen, C; Jaarsma, F; 2009. Traffic mortality and the role of minor roads. *Journal of Environmental Management* 90(1):660-667. (en línea). Consultado oct. 3 de 2010. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03014797>.

van Langevelde, C; Jaarsma, F. (2009). Modeling the effect of traffic calming on local animal population persistence. *Ecology and Society*. 14(2):39.

6.7 ANEXOS

Anexo 1. Especies registradas usando los pasos de fauna en la Carretera Interamericana, ACG (frecuencia relativa entre paréntesis).

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FRECUENCIA ABSOLUTA
ANFIBIOS (4 especies)		
<i>Rhinella marina</i>	Sapo	1 (0)
No id.		1 (0)
No id.		3 (0.01)
No id.		1 (0)
REPTILES (8 especies)		
<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo	22 (0.08)
<i>Leptodymus pulcherrimus</i>	Cabeza verde	1 (0)
<i>Masticophis mentovarius</i>	Sabanera de bosque seco	1 (0)
<i>Sceloporus squamosus</i>	Lagartija espinosa rojiza	8 (0.03)
No id.		1 (0)
No id.		1 (0)
<i>Kinosternon leucostomum</i>	Tortuga	2 (0.01)
<i>Rhinoclemmys pulcherrina</i>	Tortuga de bosque pintada	2 (0.01)
AVES (6 especies)		
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	Tinamú	1 (0)
<i>Crax rubra</i>	Pava	7 (0.03)
<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Garza tigre	1 (0)
<i>Buteo platypterus</i>	Halcón de alas anchas	1 (0)
<i>Thryothorus pleurostictus</i>	Soterrey de costado barreteado	5 (0.02)
No id.		1 (0)
MAMÍFEROS (23 especies)		
<i>Puma concolor</i>	Puma	1 (0)
<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado de cola blanca	5 (0.02)
<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro pelón	4 (0.01)
<i>Didelphis virginiana</i>	Zorro norteño	5 (0.02)
<i>Philander opossum</i>	Zorro gris de cuatro ojos	2 (0.01)
<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	1 (0)
<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas	5 (0.02)
<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa	114 (0.41)
<i>Agouti paca</i>	Tepezcuintle	12 (0.04)
<i>Procyon lotor</i>	Mapache	1 (0)
<i>Nasua narica</i>	Pizote	17 (0.06)
<i>Eira barbara</i>	Tolomuco	6 (0.02)
<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorro hediondo	2 (0.01)
<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	11 (0.04)
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	Yaguarundi	1 (0)
<i>Spilogale putorius</i>	Zorro hediondo manchado	1 (0)
<i>Caluromys derbianus</i>	Zorro de balsa	1 (0)
<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla variable	1 (0)
<i>Liomys salvini</i>	Ratón de monte	7 (0.03)
<i>Otodylomys phyllotis</i>	Ratón o Rata de monte	8 (0.03)

Anexo 2. Algunas especies fotografiadas usando los pasos en el ACG



Ocelote (*Leopardus pardalis*)



Zorro norteño (*Didelphis virginiana*)



Tolomuco (*Eira barbara*)



Venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*)



Puma (*Puma concolor*)



Ocelote (*Leopardus pardalis*)



Garrobo (*Ctenosaura similis*)



HCO ScoutGuard 2.28.2011 8:0

Guatusa (*Dasyprocta punctata*)



Stealth Cam 03/10/2011 16:26:47 93F

Pizote (*Nasua narica*)



93F 02/25/11 11:50 AM 55555555

Pizote (*Nasua narica*)



81F 04/11/11 10:25 PM 5555555555

Ocelote (*Leopardus pardalis*)



HCO ScoutGuard 5.13.2011 20:46:06

Ocelote (*Leopardus pardalis*)



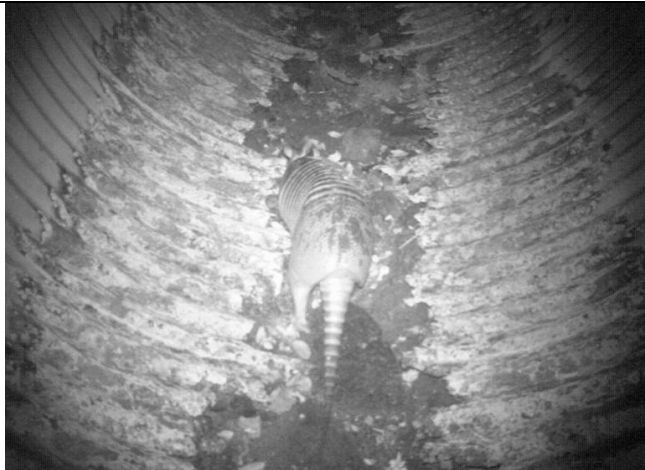
HCO ScoutGuard 6.23.2011 0:44

Tepezcuintle (*Agouti paca*)



HCO ScoutGuard 6.26.2011 1:21:14

Colubrido



HCO ScoutGuard 6.24.2011 1:43:52

Armadillo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*)



Stealth Cam 06/08/2011 22:02:06 79F

Zorro pelón (*Dighelpis virginiana*)



53°C 08/08/11 07:54 AM 5555555555

Garza tigre (*Trigrosoma mexicanum*)



75°F 07/02/11 09:35 PM 5555555555

Mapache (*Procyon lotor*)

Anexo 3

Modelos lineales generalizados para la riqueza total de especies

MODELO	AICc	df	Δ AICc	w
Riqueza ~ ancho	83.2	2	7.6	0.00847
Riqueza ~ largo	75.6	2	0	0.36956
Riqueza ~ profundidad	82.2	2	6.6	0.01377
Riqueza ~ temperatura	87.6	2	11.9	<0.001
Riqueza ~ largo + ancho	77	3	1.3	0.18956
Riqueza ~ ancho + profundidad	81.3	3	5.7	0.02126
Riqueza ~ ancho + temperatura	86.1	3	10.5	0.00195
Riqueza ~ largo + profundidad	78.4	3	2.8	0.0917
Riqueza ~ largo + temperatura	76.3	3	0.6	0.26948
Riqueza ~ profundidad + temperatura	85	3	9.4	0.00334
Riqueza ~ largo + profundidad + ancho	80.7	4	5	0.02996
Riqueza ~ bosque seco	87	2	3.9	0.0572
Riqueza ~ obstrucción horizontal	88.1	2	5	0.0329
Riqueza ~ cobertura	88.5	2	5.4	0.0269
Riqueza ~ distancia al paso	83.1	2	0	0.3983
Riqueza ~ bosque + obstrucción horizontal	88.4	3	5.4	0.0273
Riqueza ~ bosque + cobertura	90	3	6.9	0.0126
Riqueza ~ bosque + distancia al paso	86.1	3	3	0.0906
Riqueza ~ obstrucción horizontal + cobertura	90	3	6.9	0.0127
Riqueza ~ obstrucción horizontal + distancia al paso	84	3	0.9	0.2585
Riqueza ~ cobertura + distancia al paso	86.2	3	3.1	0.0829
Riqueza ~ obstrucción hídrica	82.6	2	5.8	0.0281
Riqueza ~ tasa hombre	84	2	7.2	0.0138
Riqueza ~ ruido	76.8	2	0	0.5014
Riqueza ~ tasa hombre + obstrucción hídrica	80.5	3	3.6	0.0814
Riqueza ~ tasa hombre + ruido	78.4	3	1.6	0.2282
Riqueza ~ ruido + obstrucción hídrica	80	3	3.1	0.106
Riqueza ~ tasa hombre + ruido + obstrucción hídrica	81.8	4	5	0.0411
Riqueza ~ largo + ruido + distancia al paso	79.4	4	0	0.4224
Riqueza ~ tasa hombre + ancho + obstrucción hídrica	85.6	4	6.1	0.0195
Riqueza ~ tasa hombre + ancho + distancia al paso	83.4	4	4	0.0572
Riqueza ~ ruido + ancho	79.7	3	0.2	0.3728
Riqueza ~ tasa hombre + ancho	81.8	3	2.4	0.128

Modelos lineales generalizados para la riqueza de especies (mamíferos)

MODELO	AICc	df	Δ AICc	w
R. mamíferos ~ ancho	69.5	2	5.8	0.02496
R. mamíferos ~ largo	66.3	2	2.6	0.12585
R. mamíferos ~ profundidad	67.5	2	3.8	0.07068
R. mamíferos ~ temperatura	69.9	2	6.2	0.0212
R. mamíferos ~ largo + ancho	67.2	3	3.5	0.0809
R. mamíferos ~ ancho + profundidad	67.3	3	3.6	0.07526
R. mamíferos ~ ancho + temperatura	70.4	3	6.7	0.01604
R. mamíferos ~ largo + profundidad	67.9	3	4.2	0.05663
R. mamíferos ~ largo + temperatura	63.7	3	0	0.46193
R. mamíferos ~ profundidad + temperatura	68.5	3	4.8	0.04196
R. mamíferos ~ largo + profundidad + ancho	70	4	6.3	0.02017
R. mamíferos ~ bosque seco	67.7	2	0	0.21135
R. mamíferos ~ obstrucción horizontal	74.3	2	6.6	0.00789
R. mamíferos ~ cobertura	70.2	2	2.4	0.06233
R. mamíferos ~ distancia al paso	67.8	2	0.1	0.20368
R. mamíferos ~ bosque + obstrucción horizontal	69.8	3	2.1	0.07348
R. mamíferos ~ bosque + cobertura	69.7	3	2	0.07952
R. mamíferos ~ bosque + distancia al paso	68.4	3	0.7	0.14944
R. mamíferos ~ obstrucción horizontal + cobertura	72.2	3	4.5	0.02224
R. mamíferos ~ obstrucción horizontal + distancia al paso	69.4	3	1.7	0.09162
R. mamíferos ~ cobertura + distancia al paso	69.2	3	1.5	0.09845
R. mamíferos ~ obstrucción hídrica	66.2	2	0.8	0.24452
R. mamíferos ~ tasa hombre	75	2	9.6	0.00305
R. mamíferos ~ ruido	65.4	2	0	0.36182
R. mamíferos ~ punto caliente	74.4	2	9	0.00404
R. mamíferos ~ tasa hombre + obstrucción horizontal	68.9	3	3.5	0.06424
R. mamíferos ~ ruido + tasa hombre	68.5	3	3.1	0.07723
R. mamíferos ~ tasa hombre + punto caliente	75.3	3	9.9	0.00258
R. mamíferos ~ ruido + obstrucción hídrica	67.2	3	1.8	0.14697
R. mamíferos ~ ruido + punto caliente	68.6	3	3.2	0.07375
R. mamíferos ~ tasa hombre + ruido + obstrucción	71	4	5.6	0.0218
R. mamíferos ~ ruido + bosque + largo	68.4	4	0	0.3312
R. mamíferos ~ ruido + bosque + temperatura	69.2	4	0.8	0.2187
R. mamíferos ~ ruido + distancia al paso + largo	70.7	4	2.4	0.1019
R. mamíferos ~ obstrucción + distancia al paso + largo	70.9	4	2.6	0.0921
R. mamíferos ~ ruido + distancia al paso + temperatura	69.8	4	1.4	0.1674

Modelos lineales generalizados para la riqueza de especies (reptiles)

MODELO	AICc	df	Δ AICc	w
R. reptiles ~ ancho	45.5	2	0.6	0.1643
R. reptiles ~ largo	44.9	2	0	0.2255
R. reptiles ~ profundidad	46	2	1.2	0.1268
R. reptiles ~ temperatura	45.8	2	0.9	0.1469
R. reptiles ~ largo + ancho	46.3	3	1.4	0.1101
R. reptiles ~ ancho + profundidad	48.7	3	3.8	0.0337
R. reptiles ~ ancho + temperatura	48.6	3	3.7	0.035
R. reptiles ~ largo + profundidad	47.6	3	2.7	0.0579
R. reptiles ~ largo + temperatura	47.8	3	2.9	0.0516
R. reptiles ~ profundidad + temperatura	48.9	3	4	0.0306
R. reptiles ~ largo + profundidad + ancho	50	4	5.1	0.0176
R. reptiles ~ bosque seco	41.2	2	0.9	0.2096
R. reptiles ~ obstrucción horizontal	46	2	5.7	0.01901
R. reptiles ~ cobertura	40.3	2	0	0.32329
R. reptiles ~ distancia al paso	44.4	2	4.1	0.04254
R. reptiles ~ bosque + cobertura	42.7	3	2.3	0.09989
R. reptiles ~ bosque + obstrucción horizontal	44.3	3	3.9	0.04511
R. reptiles ~ bosque + distancia al paso	44.2	3	3.9	0.04699
R. reptiles ~ obstrucción horizontal + cobertura	42.7	3	2.3	0.1003
R. reptiles ~ obstrucción horizontal + distancia al paso	47.6	3	7.2	0.00872
R. reptiles ~ cobertura + distancia al paso	42.6	3	2.3	0.10483
R. reptiles ~ obstrucción hídrica	46	2	8.9	0.00773
R. reptiles ~ tasa hombre	37	2	0	0.67207
R. reptiles ~ ruido	44.5	2	7.5	0.01583
R. reptiles ~ tasa hombre + obstrucción hídrica	40.2	3	3.2	0.13729
R. reptiles ~ tasa hombre + ruido	40.1	3	3.1	0.14138
R. reptiles ~ ruido + obstrucción hídrica	47.1	3	10.1	0.0044
R. reptiles ~ tasa hombre + ruido + obstrucción hídrica	43.9	4	6.9	0.0213
R. reptiles ~ largo + tasa hombre + cobertura	43.7	4	3.3	0.0905
R. reptiles ~ tasa hombre + bosque seco + largo	43.3	4	2.9	0.1106
R. reptiles ~ ruido + bosque seco + largo	44.6	4	4.2	0.0576
R. reptiles ~ tasa hombre + ancho	40.3	3	0	0.4763
R. reptiles ~ ruido + bosque seco	41.5	3	1.2	0.265

Anexo 4.

Modelos de ocupación de las especies más abundantes

Garrobo

Model	AIC	deltaAIC	AIC wgt	Model Likelihood	no.Par.	Loglike -2
psi(COB),eps(PRE),p()	83.29	0	0.2074	1	3	77.29
psi(TEM),eps(PRE),p()	83.57	0.28	0.1803	0.8694	3	77.57
psi(COB),eps(TEM),p()	84.85	1.56	0.0951	0.4584	3	78.85
psi(),eps(),p()	85.05	1.76	0.086	0.4148	3	79.05
psi,gamma(TEM),eps(PRE),p()	85.59	2.3	0.0657	0.3166	4	77.59
psi,gamma(),eps(PRE),p()	85.59	2.3	0.0657	0.3166	4	77.59
psi,gamma(COB),eps(PRE),p()	85.59	2.3	0.0657	0.3166	4	77.59
psi,gamma(TEM),eps(COB),p()	87	3.71	0.0325	0.1565	4	79
psi,gamma(TEM),eps(),p()	87.05	3.76	0.0316	0.1526	4	79.05
psi,gamma(COB),eps(TEM),p()	87.05	3.76	0.0316	0.1526	4	79.05
psi,gamma(),eps(),p()	87.05	3.76	0.0316	0.1526	4	79.05
psi,gamma(),eps(),p() LINK	87.05	3.76	0.0316	0.1526	4	79.05
psi(TEM),gamma(),p()	91.44	8.15	0.0035	0.017	3	85.44
psi(),gamma(),p()	91.79	8.5	0.003	0.0143	3	85.79
psi(COB),gamma(TEM),p()	92.42	9.13	0.0022	0.0104	3	86.42
psi(PRE),gamma(TEM),p()	94.72	11.43	0.0007	0.0033	3	88.72
psi(COB),gam(TEM),eps=1-gam,p()	100.28	16.99	0	0.0002	3	94.28

Pizote

Model	AIC	deltaAIC	AIC wgt	Model Likelihood	no.Par.	Loglike -2
psi(COB),eps(PRE),p()	54.96	0	0.2295	1	3	48.96
psi(COB),eps(TEM),p()	54.96	0	0.2295	1	3	48.96
psi,gamma(TEM),eps(PRE),p()	56.21	1.25	0.1229	0.5353	4	48.21
psi,gamma(COB),eps(PRE),p()	56.21	1.25	0.1229	0.5353	4	48.21
psi(),gamma(),p()	57.35	2.39	0.0695	0.3027	3	51.35
psi(COB),eps(TEM,PRE),p()	57.59	2.63	0.0616	0.2685	4	49.59
psi(),eps(),p()	57.75	2.79	0.0569	0.2478	3	51.75
psi,gamma(),eps(),p()	59.16	4.2	0.0281	0.1225	4	51.16
psi(COB),gamma(TEM),p()	64.01	9.05	0.0025	0.0108	3	58.01
psi(.),gam(.),eps=1-gam,p()	70.47	15.51	0.0001	0.0004	3	64.47
psi(COB),gam(TEM),eps=1-gam,p()	70.48	15.52	0.0001	0.0004	3	64.48
psi(COB),gamma(PRE),p()	70.61	15.65	0.0001	0.0004	3	64.61

Tepezcuintle

Model	AIC	deltaAIC	AIC wgt	Model Likelihood	no.Par.	Loglike -2
psi,gamma(TEM),eps(COB),p()	51.37	0	0.1459	1	4	43.37
psi,gamma(),eps(),p()	51.54	0.17	0.134	0.9185	4	43.54
psi(),gamma(),p()	52.36	0.99	0.0889	0.6096	3	46.36
psi(),eps(),p()	52.58	1.21	0.0796	0.5461	3	46.58
psi(),gamma(tem),p()	52.8	1.43	0.0714	0.4892	3	46.8
psi(cob),gam(tem),eps=1-gam,p()	53.27	1.9	0.0564	0.3867	3	47.27
psi(),eps(COB),p()	53.69	2.32	0.0457	0.3135	3	47.69
psi,gamma(TEM),eps(),p()	54.58	3.21	0.0293	0.2009	4	46.58
psi(COB),eps(TEM),p()	54.81	3.44	0.0261	0.1791	3	48.81
psi(PRE),gamma(TEM),p()	55.96	4.59	0.0147	0.1008	3	49.96
psi,gamma(COB,TEM),eps(),p()	56.58	5.21	0.0108	0.0739	5	46.58
psi(PRE),eps(TEM),p()	56.94	5.57	0.009	0.0617	3	50.94
psi,gamma(PRE),eps(COB),p()	57.04	5.67	0.0086	0.0587	4	49.04
psi,gamma(PRE),eps(),p()	57.65	6.28	0.0063	0.0433	4	49.65
psi(TEM),gamma(PRE),p()	57.65	6.28	0.0063	0.0433	3	51.65
psi(TEM),eps(COB),p()	58.59	7.22	0.0039	0.0271	3	52.59
psi(COB),gamma(TEM),p()	59.05	7.68	0.0031	0.0215	3	53.05
psi(COB),eps(PRE),p()	59.48	8.11	0.0025	0.0173	3	53.48
psi,gamma(COB),eps(PRE),p()	61.66	10.29	0.0009	0.0058	4	53.66





Guatusa






Model	AIC	deltaAIC	AIC wgt	Model Likelihood	no.Par.	Loglike -2
psi,gamma(),eps(),p()	164.16	0	0.2551	1	4	156.16
psi(),gamma(),p()	165.25	1.09	0.1479	0.5798	3	159.25
psi(),eps(),p()	165.4	1.24	0.1372	0.5379	3	159.4
psi(COB),eps(TEM),p()	165.69	1.53	0.1187	0.4653	3	159.69
psi(COB,TEM),gamma(),p()	166.19	2.03	0.0925	0.3624	4	158.19
psi(COB),gamma(TEM),p()	166.31	2.15	0.0871	0.3413	3	160.31
psi,gamma(COB),eps(),p()	167.4	3.24	0.0505	0.1979	4	159.4
psi,gamma(TEM),eps(),p()	167.4	3.24	0.0505	0.1979	4	159.4
psi,gamma(OBS),eps(PRE),p()	173.86	9.7	0.002	0.0078	4	165.86
psi(TEM),eps(PRE),p()	176.82	12.66	0.0005	0.0018	3	170.82
psi(COB),eps(PRE),p()	177.28	13.12	0.0004	0.0014	3	171.28
psi,gamma(COB),eps(TEM),p()	177.76	13.6	0.0003	0.0011	4	169.76
psi,gamma(PRE),eps(),p()	182.05	17.89	0	0.0001	4	174.05
psi(COB),gam(OBS),eps=1-gam,p()	199.71	35.55	0	0	3	193.71






Ocelote

Model	AIC	deltaAIC	AIC wgt	Model Likelihood	no.Par.	Loglike -2
psi(COB),eps(PRE),p()	88.18	0	0.1258	1	3	82.18
psi(COB),gamma(TEM),p()	88.64	0.46	0.1	0.7945	3	82.64
psi(),eps(),p()	88.65	0.47	0.0995	0.7906	3	82.65
psi(COB),gam(TEM),eps=1-gam,p()	88.72	0.54	0.096	0.7634	3	82.72
psi(),gamma(),p()	88.81	0.63	0.0918	0.7298	3	82.81
psi,gamma(COB),eps(PRE),p()	89.24	1.06	0.074	0.5886	4	81.24
psi,gamma(COB),eps(TEM),p()	89.24	1.06	0.074	0.5886	4	81.24
psi(COB,TEM),eps(PRE),p()	90.18	2	0.0463	0.3679	4	82.18
psi,gamma(),eps(),p()	90.81	2.63	0.0338	0.2685	4	82.81
psi,gamma(),eps(PRE),p()	91.03	2.85	0.0303	0.2405	4	83.03
psi,gamma(COB, TEM),eps(),p()	92.65	4.47	0.0135	0.107	5	82.65

Anexo 5. Características básicas de ubicación y medidas generales a tomar sobre los pasos de fauna frente a una posible ampliación de la Carretera Interamericana

PASO	LONGITUD	LATITUD	FORMA Y ACCESOS	# ESPECIES	# REGISTROS	DESCRIPCIÓN DE ESPECIES	INUNDACIÓN INTERIOR	PERMANENCIA DE POZAS A LA ENTRADA	FRENTE A POSIBLE AMPLIACIÓN
UNO	8557057	1085967		14	48	Pizote, guatusa, tolomuco, garrobo, ocelote, zorro norteño, zorro gris de cuatro ojos, armadillo de nueve bandas, pava, zorro hediondo, sapo marino, tepezcuintle, mapache.	LENTA	MÍNIMA	Controlar efectos de erosión en las entradas.
DOS	8557273	1086854		8	22	Guatusa, ocelote, zorro pelón, zorro norteño, tinamú, ratones.	LENTA	MÍNIMA	Controlar efectos de erosión en las entradas.
TRES	8558363	1087695		7	20	Guatusa, venado, tortuga de bosque pintada, ocelote, zorro hediondo manchado, puma, hormiguero.	LENTA	ALTA Y PROLONGADA	Adecuar pasarelas internas y controlar efectos de erosión en las entradas.
CUATRO	8558882	1087835		7	33	Guatusa, venado, garrobo, ocelote, pizote, garza tigre, ratones.	LENTA	ALTA Y PROLONGADA	Adecuar pasarelas internas y controlar efectos de erosión en las entradas.

PASO	LONGITUD	LATITUD	FORMA Y ACCESOS	# ESPECIES	# REGISTROS	DESCRIPCIÓN DE ESPECIES	INUNDACIÓN INTERIOR	PERMANENCIA DE POZAS A LA ENTRADA	FRENTE A POSIBLE AMPLIACIÓN
CINCO	8560284	1089305		5	14	Guatusa, ocelote, zorro de balsa, ratones y anfibios.	MEDIA	MEDIA	Si es posible, reemplazarla por una de mayor tamaño. Caso contrario, mantener el estado actual.
SEIS	8560253	1089424		5	36	Guatusa, garrobo, ocelote, zorro pelón, yaguaroundi.	LENTA	MEDIA	Si es posible, reemplazarla por una de mayor tamaño. Caso contrario, mantener el estado actual.
SIETE	8560261	1090093		6	11	Pava, zorro hediondo, zorro pelón, sabanera del bosque seco, tortuga, ratones.	MEDIA	MEDIA	Si es posible, optimizar el espacio con un acceso. Caso contrario, mantener el estado actual.
OCHO	8560267	1090339		2	7	Guatusa y ocelote.	MEDIA	MEDIA	Optimizar el espacio reemplazándola por una estructura de un acceso.
NUEVE	8560284	1090771		3	9	Guatusa, zorro pelón, garrobo.	TEMPRANA	ALTA Y PROLONGADA	Reemplazar por estructura de mayor tamaño.

PASO	LONGITUD	LATITUD	FORMA Y ACCESOS	# ESPECIES	# REGISTROS	DESCRIPCIÓN DE ESPECIES	INUNDACIÓN INTERIOR	PERMANENCIA DE POZAS A LA ENTRADA	FRENTE A POSIBLE AMPLIACIÓN
DIEZ	8560282	1091148		3	7	Pizote, ratones, halcón de alas anchas.	MEDIA	ALTA Y PROLONGADA	Adecuar pasarelas internas y controlar efectos de erosión en las entradas.
ONCE	8560600	1092266		2	12	Guatusa, soterey de costado barreteado.	TEMPRANA	ALTA Y PROLONGADA	Optimizar el espacio reemplazándola por una estructura de un acceso.
DOCE	8560818	1092684		3	3	Zorro pelón norteño, anfibios.	MEDIA	PROLONGADA	Mantener el estado actual.
TRECE	8561038	1093663		1	8	Tepezcuintle	MEDIA	MEDIA	Mantener el estado actual.
CATORCE	8561118	1093862		11	26	Tepezcuintle, armadillo de nueve bandas, ocelote, garrobo, ardilla variable, colúbridos,	ALTA	MEDIA Y PROLONGADA	Reemplazar por estructura de mayor tamaño y de mejor material.

PASO	LONGITUD	LATITUD	FORMA Y ACCESOS	# ESPECIES	# REGISTROS	DESCRIPCIÓN DE ESPECIES	INUNDACIÓN INTERIOR	PERMANENCIA DE POZAS A LA ENTRADA	FRENTE A POSIBLE AMPLIACIÓN
QUINCE	8561208	1094140		6	21	Lagartija espinosa rojiza, garrobo, soterrey de costado barreteado, ocelote, cabeza verde, ratones.	MEDIA	MEDIA	Optimizar el espacio reemplazándola por una estructura de un acceso.