



Propuesta de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento como medidas para restaurar la conectividad del hábitat de la especie *Cuniculus paca* en Ecuador*

Proposal for Ecological Corridors and Buffer Areas as Measures to Restore the Connection in the Habitat of the *Cuniculus* Species in Ecuador

Scarlet Cartaya**, Shirley Zurita***, Roddy Mantuano-Eduarte****

Recibido: 2016-02-02 // Aprobado: 2016-04-10 // Disponible en línea: 2016-06-30

Cómo citar este artículo: Cartaya, S., Zurita, S. y Mantuano-Eduarte, R. (2016). Propuesta de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento como medidas para restaurar la conectividad del hábitat de la especie *Cuniculus paca* en Ecuador. *Ambiente y Desarrollo*, 20(39), 69-82. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-39.pcez>
doi:10.11144/Javeriana.ayd20-39.pcez

Resumen

En el presente estudio se propone el diseño de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento como medida para la ampliación y restauración de la conectividad del hábitat de la especie cinegética *Cuniculus paca* en el centro-norte de la provincia de Manabí, situada al occidente del Ecuador. La metodología empleada, resultado de modificaciones de la propuesta de Bentrup (2008), se sustentó en el análisis de parámetros geográficos que definen zonas con la mejor aptitud territorial para el hábitat de la especie. Asimismo, el estudio se basa en un análisis de costo que, mediante un Sistema de Información Geográfica, permite definir la potencial ubicación de los conectores funcionales. De ese modo, el modelo proporciona información fehaciente que permite proponer con exactitud el trazado de los corredores y las zonas de amortiguamiento. Como se observará oportunamente, la metodología empleada puede ajustarse para otras especies.

Palabras clave: corredores ecológicos; zonas de amortiguamiento; *Cuniculus paca*; Ecuador

* El artículo se deriva del proyecto de investigación *Aplicaciones de las Tecnologías de Información Geográficas a los estudios de ecología forestal y conservación de biodiversidad, en la provincia de Manabí, Ecuador*, cuya coordinadora fue Scarlet Cartaya y que se desarrolló de mayo de 2015 a mayo de 2016. El estudio fue financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología de Ecuador (Senescyt) por medio del Proyecto Prometeo.

** Doctora en Ciencias Sociales afiliada al Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Prometeo Senescyt, el Instituto Pedagógico de Caracas y el Centro de Investigaciones Estudios de Medio Físico Venezolano. Correo electrónico: scarletcartaya@gmail.com

*** Magister en Ciencias Ambientales afiliada al Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Correo electrónico: isza1984@gmail.com

*** Estudiante Auxiliar del Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Correo electrónico: rody.scout@gmail.com



Abstract

This study proposes the design of ecological corridors and buffer zones as a measure to expand and restore the connections in the habitat of the hunting species *Cuniculus paca* in the central-north area of the Manabi province, located in the west side of Ecuador. The methodology used, a result from modifications made to Bentrup's proposal (2008), is based on the analysis of geographical parameters which define areas with the best territorial suitability for the habitat of the species. Likewise, the study is based in a cost analysis that, using a Geographical Information System, allows us to define the potential location of the functional connectors. In this way, the model provides us with authentic information that allows us to propose with precision the layout of the corridors and the buffer areas. As it would be seen in time, the methodology used can be adjusted for other species.

Keywords: ecological corridors; buffer areas; *Cuniculus paca*; Ecuador

Introducción

La fragmentación de los ecosistemas y la pérdida de conectividad ecológica, dos de los principales factores que tienen un impacto profundo en la biodiversidad, son en gran medida ocasionados por el incremento y homogenización de las actividades agrícolas y urbanas (Rodríguez-Soto *et al.*, 2013; De León Mata *et al.*, 2014; Johnstone *et al.*, 2014; Gao Q, 2014; García-Marmolejo *et al.*, 2015; Loro *et al.*, 2015; Van Langevelde, 2015; Villemey *et al.*, 2015; Burkart *et al.*, 2016; Peled, 2016). La conectividad ecológica se define de acuerdo con el grado en que el territorio facilita o dificulta procesos ecológicos significativos como los desplazamientos de las especies a través de los recursos de hábitat existentes en el paisaje (San Vicente, 2014). Por tanto, la preservación de la conectividad ecológica contribuye a que se minimicen los efectos negativos de la fragmentación del hábitat (Johnstone *et al.*, 2014).

Una manera de contribuir a la disminución de la pérdida de conectividad ecológica consiste en el diseño de corredores ecológicos que funcionen como zonas que amortiguan los efectos negativos de la fragmentación. En ese sentido, resulta vital considerar las apreciaciones teóricas de Bentrup (2008), quien define los corredores ecológicos como “franjas de vegetación incorporadas al paisaje [que sirven] para influenciar los procesos ecológicos y proveer una variedad de bienes y servicios. Se los conoce por diversos nombres, como por ejemplo corredores para fauna silvestre, vías verdes, cortinas rompe vientos y franjas filtro” (p.1). Sin embargo, otros autores como Tres y Reis (2007) sostienen que muchos de estos modelos tienen una fuerte tendencia a llenar las áreas con especies arbóreas que limitan el espacio disponible para la regeneración natural. Con todo, cabe añadir que el éxito de los corredores ecológicos depende del grado en que su diseño contribuya a eliminar las barreras bióticas y abióticas que degradan al ecosistema.

Si bien Ecuador se caracteriza por poseer una alta biodiversidad, según la lista roja de animales en vía de extinción es uno de los países con mayor número de especies amenazadas en el mundo (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2014). Entre los factores que acentúan esta situación cabe destacar la intensa deforestación de bosques y la sobreexplotación de recursos naturales por la cacería y el tráfico ilegal de animales (Sierra, 2013; Rodríguez y Ortega, 2012; De Osma Vargas-Machuca *et al.*, 2014). Dichas circunstancias contribuyen en medidas diversas a la reducción y fragmentación del hábitat de las especies cinegéticas como la *Cuniculus paca*, conocida localmente como guanta.

La guanta tiene una amplia distribución geográfica en la región neotropical del territorio ecuatoriano: habita por igual los bosques húmedos, secos, tropicales y subtropicales de la Costa y la Amazonía, así como algunas estribaciones andinas por debajo de los 700 msnm (Albuja *et al.*, 1993; Tirira, 2007). Según la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (2009), la especie no está en peligro de extinción; sin embargo su supervivencia en el noroccidente del Ecuador se encuentra amenazada por múltiples factores entre los que se destacan sus propias características reproductivas; la pérdida y fragmentación del bosque nativo —su hábitat natural— por efectos de la deforestación, y el incremento de la cacería furtiva, dado que es utilizada como alimento por las poblaciones indígenas y rurales de la región (Tirira, 2007, 2011; Rodríguez y Ortega, 2012; Bonilla-Morales *et al.*, 2013; Pozo, 2013; De Osma Vargas-Machuca *et al.*, 2014).

Como lo afirma el estudio de De Osma Vargas-Machuca *et al.* (2014), a pesar de su disminución y fragmentación, los bosques siguen siendo el hábitat de la guanta o *Cuniculus paca*, y en menor cuantía de otras especies cinegéticas como la *Dasyprocta punctata* o guatusa y el *Dasybus novemcinctus* o armadillo. Dichas especies se sitúan en los remanentes de bosques nativos ubicados en el noroccidente de Manabí. En consonancia, el objetivo de esta investigación es proponer el diseño de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento en los sectores con mejor aptitud territorial para la guanta; superficies definidas de acuerdo con factores socio-económicos, biofísicos y sociales. Así pues, la finalidad del proyecto es proporcionar medidas adecuadas que permitan restaurar la conectividad ecológica entre los remanentes de bosque nativo y así favorecer un incremento del hábitat de la especie. En particular se busca facilitar la movilidad de la guanta en un sector que cubre 1500 km² en el centro-norte de la provincia de Manabí: espacio de actividades agrícolas, silvopastoriles y agroforestales.

Aunque no se encuentra bajo una delimitación político-administrativa específica, el área de estudio comprende parte de los cantones de Flavio Alfaro, Chone y El Carmen. La superficie se localiza entre las siguientes coordenadas: $00^{\circ} 17' 03''$ S y $80^{\circ} 01' 24''$ W como punto noroccidental; $00^{\circ} 17' 03''$ S y $79^{\circ} 38' 31''$ W como punto nororiental; $00^{\circ} 26' 45''$ S y $80^{\circ} 01' 24''$ W como punto suroccidental, y $00^{\circ} 26' 45''$ S y $79^{\circ} 38' 31''$ W como punto suroriental (figura 1).

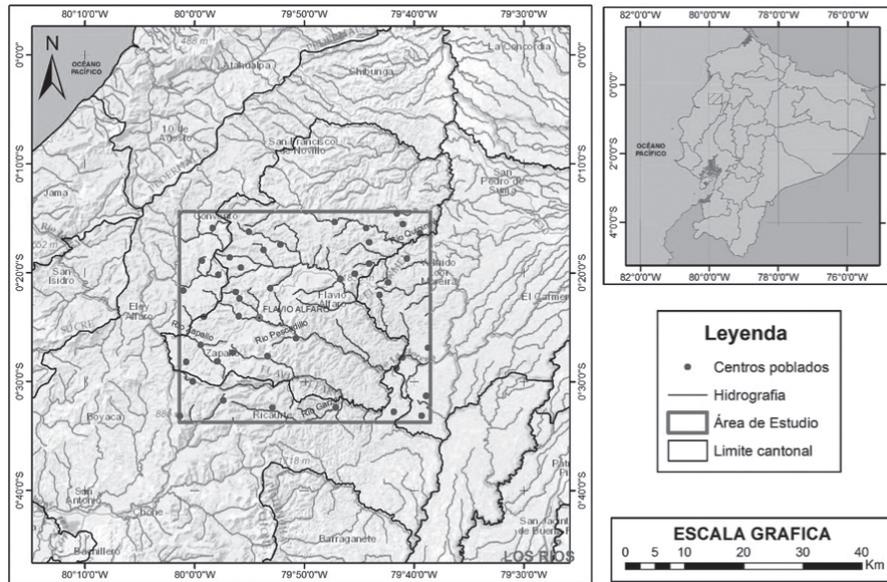


Figura 1. Localización del área de estudio

Fuente cartográfica: mapa base del Instituto Geográfico Militar (2010) y mapas temáticos del Ministerio del Ambiente de Ecuador (2014)

Metodología

Para la formulación de una propuesta de conectores ecológicos en la zona de estudio fue necesario a) identificar la cobertura boscosa nativa; b) identificar la aptitud territorial para la presencia de la guanta (*Cuniculus paca*); c) proponer la creación de conectores —corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento—, y d) procesar la geoinformación (figura 2).

Identificación de la cobertura boscosa nativa

Por medio del análisis visual que provee el paquete de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS (versión 10.1), se interpretó y delimitó la cobertura boscosa. El procedimiento se desarrolló sobre un conjunto de ortofotomapas a escala 1:5000 generados por el Ministerio de Agricultura por el Programa del Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (Sigtierras), bajo la fiscalización del Instituto Geográfico Militar (IGM). Los ortofotomapas corresponden a un sistema de coordenadas UTM, datum WGS-84, Zona 17. Asimismo, dichas coordenadas fueron adquiridas en el año 2015.

Identificación de variables y elaboración de los mapas de áreas óptimas por criterio

Para desarrollar la investigación, en primer lugar se definieron factores, variables y criterios en una matriz que representaba el modelo cartográfico. Posteriormente, se procedió con la recopilación de información cartográfica y otros productos de sensores remotos idóneos para la formulación de un mapa de aptitud territorial en el que se pudiera observar la presencia de la *Cuniculus paca*. A continuación,

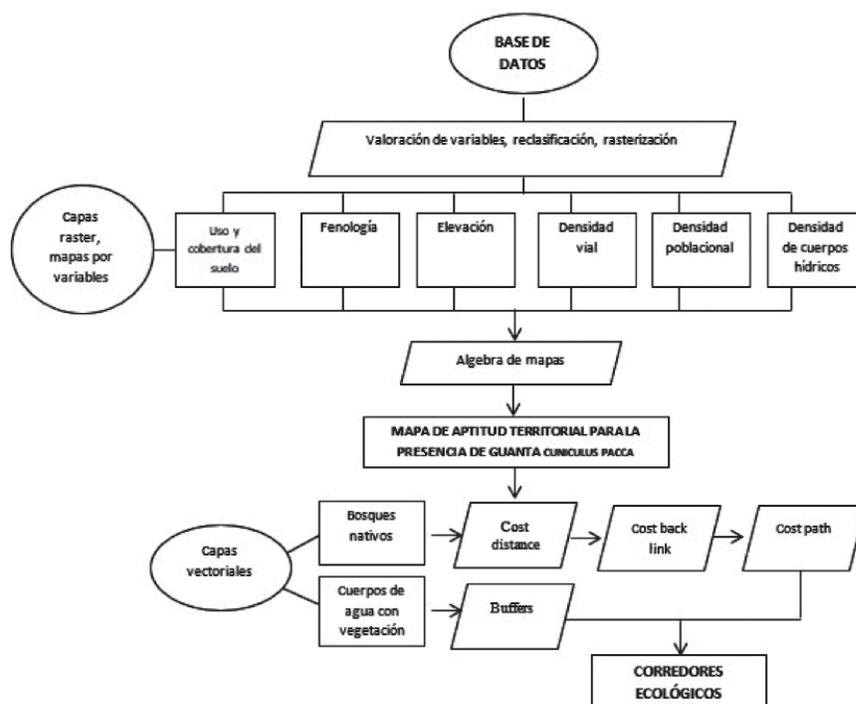


Figura 2. Esquema metodológico para la propuesta de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento

Fuente: esta investigación

con esa información se propusieron los corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento aptos para el caso particular.

Cada una de las variables fue valorada de acuerdo con su importancia para la presencia de la especie en la zona de estudio. La evaluación fue realizada por expertos que integraron un equipo multidisciplinario afín a las contingencias ecológicas y biológicas de la especie. En suma, el grupo de investigación planteó valores o puntuaciones superiores a las circunstancias en las que determinadas variables suponían condiciones más favorables para la presencia de guanta. A pesar de las valoraciones particulares de los factores aludidos, se optó por no formular ponderaciones porcentuales diferenciadas a ninguno de ellos. En otras palabras, en la etapa final del álgebra de mapas no se otorgó un peso particular a ninguna de las variables, dado que se desconocía el nivel de adaptabilidad de la especie a las condiciones que ofrecía el medio. En consecuencia, se descartaron diferencias de una mayor o menor incidencia de los factores sociales, biofísicos y económicos (cuadro 1).

Para la valoración y representación cartográfica del estudio fue implementado el programa ArcGIS 10.1. Como resultado, se obtuvo un mapa por cada una de las variables consideradas, con lo que se constituyó un total de seis capas en formato *raster*. A continuación, cada una de ellas fue zonificada con base en su nivel de importancia —alta, media, baja—, que fue determinado de acuerdo con las condiciones del medio para la existencia de la especie.

En algunos casos se trabajó a nivel vectorial y mediante la selección de atributos. Se escogieron las variables de las capas *shapefiles* y posteriormente se les otorgaron valores como se muestra en el cuadro 1. De ese modo, en el caso de la capa de *uso y cobertura de la tierra* se dieron valores de 3 a los bosques; de 2 a las superficies agroforestales, y de 1 a los pastos. Por otra parte, en el aspecto de la *fenología de la vegetación* se otorgó un valor de 3 a las superficies caracterizadas por la presencia de bosques siempreverdes; de 2 a los bosques siempreverdes estacionales y, finalmente, de 1 a los bosques con características de semideciduo.

Cuadro 1. Factores, criterios, variables y valoración sopesados para la obtención del mapa de aptitud territorial

<i>Factor</i>	<i>Criterio</i>	<i>Variable</i>	<i>Valor</i>	<i>Fuente de la información</i>
<i>Socio-económico</i>	Cobertura de la tierra	Bosques	3	MAE-Magap 2015, 1:100.000
		Agroforestal	2	
		Pastos	1	
<i>Bio-físico</i>	Densidad hídrica	Alta	3	IGM 2013, 1:50.000
		Media	2	
		Baja	1	
	Fenología de la vegetación	Bosques siempreverdes	3	MAE 2013, 1:100.000
		Bosques siempreverdes estacionales	2	
		Semideciduo	1	
Elevación	487-680 m	3	Curvas de nivel IGM 2013, 1:50.000	
	294-486 m	2		
	100-293 m	1		
<i>Social</i>	Densidad poblacional	Baja	3	IGM 2013,1:50.000
		Media	2	
		Alta	1	
	Densidad vial	Baja	3	IGM 2013,1:50.000
		Media	2	
		Alta	1	

Fuente: esta investigación

Para el estudio de la *topografía del lugar* fue necesaria la creación anticipada de una red irregular de triángulos (TIN): una estructura digital de datos utilizada en un sistema de información geográfica (SIG) para la representación de una superficie. En este caso en particular, se tomó como punto de partida una capa de curvas de nivel oficial realizada cada 40 mts. Posteriormente, se adaptaron las mediciones al formato *raster* y se reclasificaron las apreciaciones en tres rangos iguales según la cota de elevación. Así, se dieron valores de 3 a las cotas que oscilaban entre los 680 y los 487 metros; de 2 a las que oscilaban entre los 486 y los 294 metros, y 1 a las que oscilaban entre los 293 y los 100 metros.

En los casos de las *densidades hídrica, poblacional y vial* se empleó la herramienta *density*. Su uso fue fundamental tanto para el estudio de factores *shapefiles* en formato de líneas —cuerpos de agua y vías— como para el de elementos que corresponden con puntos —centros poblados—. A partir de una capa vectorial, esta herramienta calculó la densidad de las entidades en un radio correspondiente a cada celda de salida. Posteriormente, se generó una nueva capa que estimaba las densidades requeridas para que fueran, a su vez, reclasificada en tres categorías.

En cuanto a las *densidades poblacional y vial* se otorgaron valores de 3 a las zonas con menor concentración; de 2 a las que contaban con una densidad media, y de 1 a las que evidenciaban una presencia significativa de dichas variables. Vale la pena observar que a la densidad hídrica correspondieron valores basados en la concentración de los cuerpos de agua en contextos en los que una mayor densidad hídrica —o una mayor presencia de cuerpos de agua por unidad de tierra— hizo más aptas las zonas para la supervivencia de las especies. En consecuencia, se dio un valor de 3 a las zonas con densidad alta de cuerpos de agua; uno de 2 a las de densidad media, y uno de 1 a las de densidad baja.

Elaboración del mapa de aptitud territorial

Tras la obtención de las capas de cada criterio, en la calculadora *raster* del programa se realizó un cruce de mapas conocido como álgebra de mapa. Como resultado se generaron alrededor de 11 clases. A continuación, se llevó a cabo la calibración del modelo mediante procesos de reclasificación. Se obtuvieron tres clases en total, que coincidieron con el siguiente estándar de catalogación: la zona con valor 3 correspondió con la de mayor aptitud territorial; la de valor 2 con una aptitud territorial media, y la de valor 1 con una aptitud territorial baja. Vale la pena anotar que la transformación del formato *raster* a vectorial fue necesaria para que se obtuvieran las estadísticas métricas de la superficie de cada uno de estos valores.

Propuesta de conectores: corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento

Con base en modificaciones estratégicas de los lineamientos de Bentrup (2008), se desarrolló una propuesta que permite identificar elementos del paisaje vitales para el diseño óptimo de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento. Se tomó como punto de partida la identificación en el paisaje de la matriz, así como de áreas núcleo o nodos. Las áreas núcleo son unidades biológicas de gran importancia para el rescate de la biodiversidad y están representadas por los remanentes de bosque nativo. Por su parte, la matriz corresponde a las zonas que han sido ocupadas por actividades agroforestales, pastoriles y urbanas.

Los corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento se diseñaron de acuerdo con la ubicación y tamaño de los nodos. Vale la pena anotar que un *corredor ecológico* es definido como un conector alargado que cumple las funciones de restaurar los empalmes territoriales que enlazan los nodos y de aumentar el acceso a los recursos. Los corredores ecológicos pueden ser de varios tipos: lineales, corredores de paisaje o corredores de *pasos* —*stepping stones*—. Por su parte, las zonas de amortiguamiento, áreas transicionales representadas por franjas de vegetación que se incorporan al paisaje alrededor de las áreas núcleo o nodos de bosque, cumplen varias funciones como aumentar el hábitat; influir en los procesos ecológicos; proveer a las poblaciones de bienes y servicios variados, y proteger los bordes de los remanentes de bosque de posibles amenazas (Bentrup, 2008).

En este sentido, se procede a trabajar en las capas de *cobertura boscosa nativa* y de *identificación de aptitud territorial*. Dado que la última reúne las condiciones necesarias para que la presencia de la guanta prospere en el área de estudio, se desarrolló la propuesta de creación de los conectores ecológicos de acuerdo con los lineamientos descritos a continuación.

Se realizó una selección de datos por atributos a partir de la que se escogieron los remanentes de cobertura boscosa nativa más significativos en términos de superficie. La elección de dichas extensiones como segmentos nodales tuvo como criterio de selección las dimensiones de los remanentes y el tamaño de las especies que las habitaban. En este caso, un mamífero pequeño como la guanta requiere un área mínima de 2,5 acres, extensión que equivale a 10117,14 mts² (Bentrup, 2008). En consecuencia, la medida que se obtiene como valor de referencia para los remanentes de vegetación corresponde a ≥ 1 ha.

A continuación, se dividieron las áreas núcleo de bosque en bloques, de acuerdo con sus niveles de concentración por unidad de tierra. Esto permitió que se elaborara una propuesta dirigida hacia la necesidad de conectividad de los remanentes. Asimismo, a todos los cuerpos de agua con caudal permanente se les aplicó un área *buffer* de 30 mts, con lo que pasaron a ser considerados zonas de reforestación. Sin embargo, muchos de ellos tenían en sus alrededores vegetación riparia, por lo que se concluyó que la reforestación a lo largo de todo el canal resultaba innecesaria. Dichos cuerpos de agua se convirtieron así en conectores naturales para los retazos de bosques nativos seleccionados.

Con el fin de generar imágenes matriciales para la propuesta de los corredores, se implementó la extensión *Spatial Analyst Tools* del programa ArcGIS 10.1¹. El uso de dicha herramienta sistematizada

1 Se dio uso a las herramientas *Cost Distance*, *Cost Back Link* y *Cost Path* ubicadas dentro de la caja de herramientas *Distance*.

permitió la planeación de corredores para las zonas carentes de conectores naturales. En este contexto, resulta fundamental considerar la importancia de una imagen matricial, que consiste en la representación de uno o varios factores combinados que tienen incidencia en el trazado o viaje a lo largo de un área determinada (De Oliveira Lozada, 2010).

Para el nodo de inicio del trazado de los corredores, se realizó el proceso denominado *Cost Distance*. En esta fase fue indispensable sesgar el parámetro, lo que llevó a definir la mejor ruta o la de menor costo. Dicho análisis tiene una envergadura considerable dado que sus efectos varían según el factor que se esté analizando: en otras palabras, los efectos cambian dependiendo de si tienen como base, por ejemplo, la pendiente o los cuerpos de agua. Dado que en este caso en particular el estudio se basó en la aptitud territorial, la ruta trazada implicó el cálculo de las zonas —o celdas— que reunieron las mejores condiciones territoriales para la supervivencia de la especie.

Se aplicó la herramienta *Cost Back Link* para el remanente de inicio de trazado de los corredores. El estudio permitió que se definieran las celdas óptimas para organizar una ruta que se dirigiera hacia las fuentes o remanentes próximos más cercanos. A continuación, se realizó el proceso denominado *Cost Path*, con el fin de obtener el trazado de la ruta desde el nodo de origen hasta el nodo de destino. A estas rutas se les generó un *buffer* de 100 mts por cada lado, que correspondieron a las áreas de los corredores que debían ser restauradas. Por otra parte, los remanentes de bosque cercanos que tenían más de una hectárea y que compartían similitudes en el aspecto de la vegetación, fueron agrupados con un *buffer* de 100 mts que les permitía quedar conectados. Como resultado final, se obtuvo una representación gráfica de los corredores ecológicos de las zonas que presentaban las mejores características territoriales.

Resultados y discusión

En la figura 3 se muestran y clasifican según criterios definidos las áreas óptimas para el desarrollo del hábitat de la especie *Cuniculus paca*. Se observa que para cobertura y uso la mayor área la abarcan los pastos con una superficie de 926.31 km² (61%). En tanto, al terreno agroforestal corresponde una extensión de 334.69 km² (22%) y a los bosques competen tan solo 253,38 km² (17%), que se distribuyen en forma dispersa, principalmente, al sureste y centro del área de estudio.

La fenología más homogénea y de mayor distribución territorial se da en el bosque siempreverde estacional, dados sus 1102.98 km² (73%). En contraste, el bosque siempreverde abarca 39.54 km² (2%) restringidos a una franja al oriente, lo que lo constituye como el área con la fenología más apropiada. Dicha prolongación territorial se extiende al occidente con el bosque semidecídulo, que cuenta con 373.56 km² (25%).

Se observa que la franja de altitud óptima se sitúa entre los 487 y los 680 msnm (36.92 km² y 3%). Dicha zona se caracteriza por su difícil acceso, lo que la aleja de las perturbaciones antrópicas. Las otras franjas de elevación se ubican entre los 292 y los 486 msnm y ocupan 1447.92 km² (97%).

Es importante tener en cuenta que la densidad hídrica es un criterio esencial para el estudio, dado que la guanta suele habitar zonas cercanas a afluentes fluviales y/o con altas concentraciones de humedad. Como se puede apreciar en los mapas, los sectores que poseen las condiciones hídricas óptimas para la supervivencia de la especie son escasos: solamente corresponden a 196.21 km² (13%) de los 1500 km² del área de estudio.

Por otra parte, el área con la menor densidad vial, que representa el espacio óptimo para la supervivencia de la especie, consta de 204.52 km² (13%). La superficie se ubica en el sureste del territorio, que coincide con la extensión de menor densidad de población; superficie que ocupa a su vez un poco más de territorio: 242.85 km².

El estudio de la representación cartográfica expuesta puede llevar a resultados concluyentes para el propósito del escrito. En el mapa de aptitud territorial se aprecia que el 51% (761 km²) del área

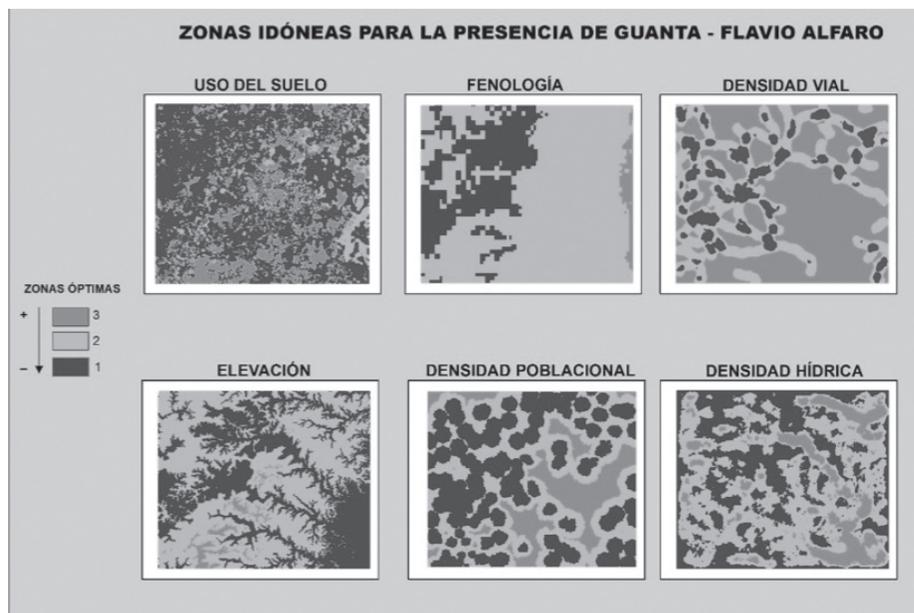


Figura 3. Mapas de territorios óptimos divididos por criterio

Fuente: esta investigación.

tiene una aptitud territorial media para el desarrollo de la especie, mientras que el 27% (408 km²) del territorio presenta condiciones bajas, y el 21% (331 km²) del área de estudio cuenta con las mejores características para la conservación de la guanta. El área cuyas características resultan más deseables se distribuye en forma dispersa en el sur y el oriente del sector de estudio, y coincide con 66.51 km² de los remanentes de bosque nativos (figuras 4 y 5).

El mapa de aptitud territorial otorgó pautas que llevaron a determinar qué zonas podían ser reforestadas por medio del método de amortiguamiento y/o mediante el diseño de corredores ecológicos (figura 6). En consecuencia, se subdividió el área en siete subconjuntos o bloques en función de la ubicación territorial y la cercanía entre los remanentes de bosque nativo (figura 7 y cuadro 2). En el bloque 1, se propone la creación de 11 corredores ecológicos cortos que unirían el núcleo principal con retazos más pequeños a su alrededor: se reforestarían 2.27 km² y se preservarían 3.90 km² de bosque, dado que este es uno de los sectores en los que la matriz agrícola es más homogénea. Algo similar ocurriría con el bloque 2, que se ubica al sur del centro poblado más grande de la zona Flavio Alfaro. En este caso se recomienda un corredor que requiere la reforestación de 0.43 km².

El bloque 3 se localiza en un sector de baja intervención antrópica. Sin embargo, la vialidad lo separa de los subconjuntos de remanentes de bosque del sur y del este que corresponden, respectivamente, a los bloques 4 y 5. En consecuencia, se propone la creación de una zona de amortiguamiento que permita agrupar más de 10 retazos de bosque y dos corredores, lo que permitiría conectar dos retazos que, a pesar de ser los más aislados, conforman el hábitat actual de la guanta. En el proceso se reforestarían 9.64 km² de bosque.

En el caso del bloque 4 se propone una zona de amortiguamiento que permita conectar más de 25 remanente de boques con superficies superiores a una ha, además de dos corredores ecológicos. Para el proceso, que involucraría la preservación de los 19.39 km² de bosque actual, se requiere la reforestación de 43.74 km².

Si bien se caracteriza por el aislamiento que ocasiona la presencia de la vialidad del bloque anterior, el bloque 5 es por su parte uno de los más importantes del área, dado que se sitúa en una zona asociada con la cuenca del río Oro y que sufre escasas perturbaciones. En este sector se propone un complejo de

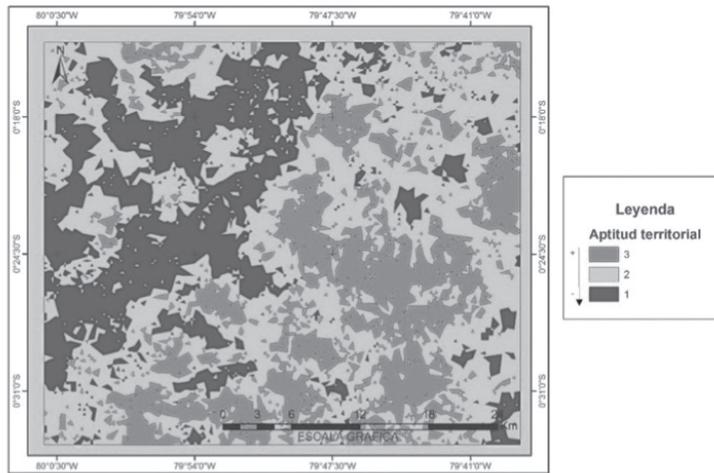


Figura 4. Mapa de aptitud territorial

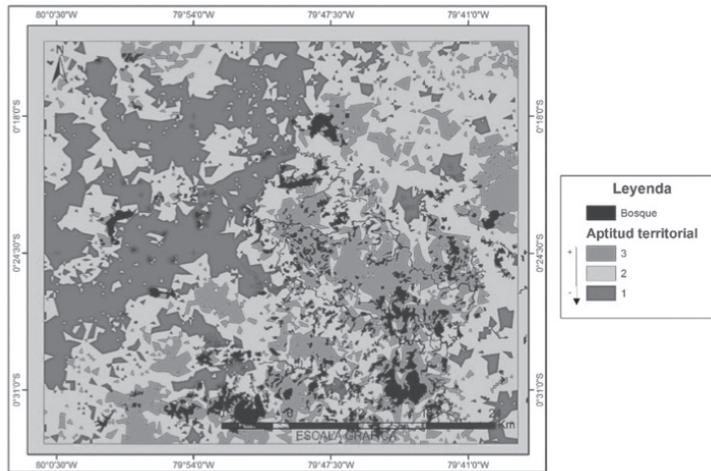


Figura 5. Mapa de aptitud territorial y remanente de bosques naturales
Fuente: esta investigación

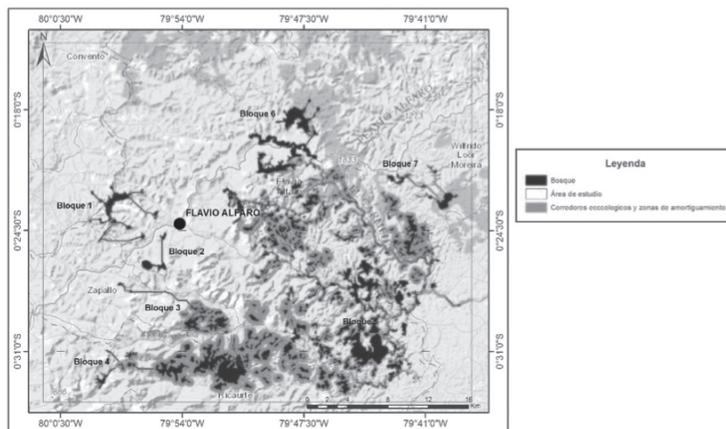


Figura 6. Propuesta de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento
Fuente: esta investigación

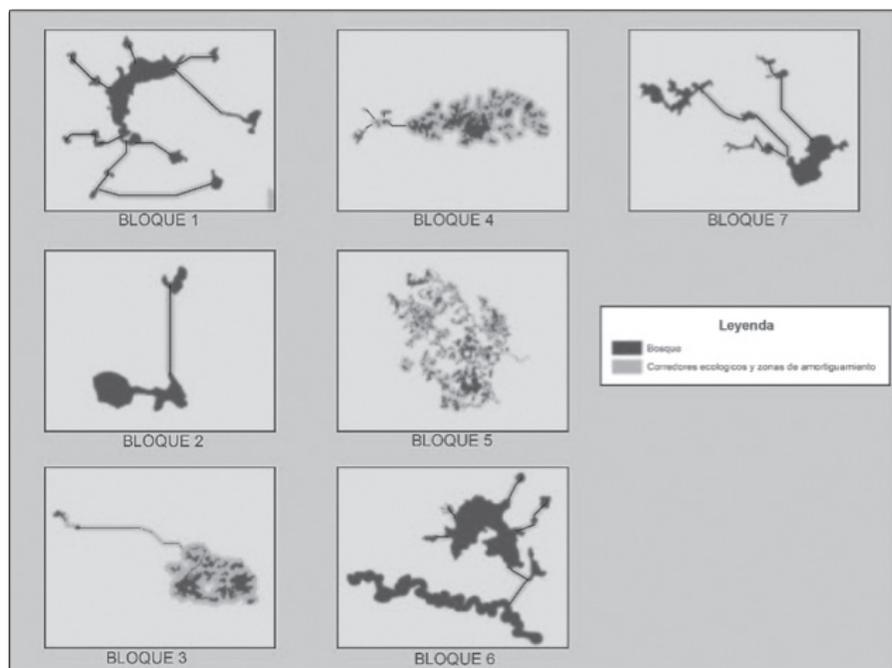


Figura 7. Bloques en detalle de la propuesta de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento

Fuente: esta investigación

Cuadro 2. Áreas a reforestar en km² y ha, y cantidad de bosque natural por bloques

Bloque	Área a reforestar (km ²)	Área a reforestar (ha)	Bosque Natural actual por bloque (km ²)
1	2.77	277	3.90
2	0.43	43	1.47
3	9.64	964	5.09
4	43.74	4375	19.39
5	84.86	8487	61.70
6	0.81	82	7.65
7	1.48	148	2.87
Total	143.76	14376	102.10

Fuente: esta investigación

corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento, lo que implicaría una mayor inversión en términos de reforestación, puesto que se requeriría brindar atención a 84.86 km². Los beneficios adicionales de la articulación de las iniciativas propuestas serían proporcionales al esfuerzo puesto que se conservarían 61,70 km² de bosque natural.

Al norte se ubica el bloque 6, que agrupa 7.65 km² de bosque natural. Al remanente de mayor tamaño se le diseñaron siete conectores que integran seis retazos pequeños a su alrededor y un retazo alargado que corresponde, a su vez, a un bosque ripario. En el proceso descrito se reforestaría menos de 1 km². Por último, el bloque 7, localizado al este del área de estudio, posee 2.87 km² de bosque natural. En su caso se propone que seis conectores unan siete retazos al núcleo, con lo que se reforestarían 1.48 km².

Esta propuesta busca aumentar el tamaño del hábitat de la *Cuniculus paca* y de otra fauna silvestre asociada, además de contribuir a la preservación de los bosques nativos actuales y a la restauración de la conectividad entre los retazos de bosque natural. Por consiguiente, se sugiere el diseño de zonas vegetales que ayuden a proteger los remanentes de bosque: una medida de conservación y regeneración cada vez más necesaria en los paisajes tropicales. Es imprescindible reconocer que los conectores cumplen una función esencial en la conservación potencial y la recuperación de la biodiversidad debido a que reversan la pérdida de bosques que ha ocasionado cambios profundos en la composición de la comunidad, así como la pérdida y aislamiento de especies silvestre (Durães *et al.*, 2013; Rodríguez-Soto *et al.*, 2013; Peles *et al.*, 2016).

Vale la pena recordar que los corredores ecológicos son los elementos del paisaje que evitan los efectos negativos de la fragmentación y mejoran las perspectivas para la biodiversidad en espacios verdes y urbanos (Vergnes *et al.*, 2012; Guneroglu *et al.*, 2013; Loro *et al.*, 2015). Por esta razón es importante tenerlos en cuenta dentro de la planificación integral territorial, dado que su administración es indispensable para optimizar la eficacia de las políticas de conservación de la naturaleza (San Vicente y Valencia, 2012).

En este punto vale la pena evaluar las estrategias que permitieron el desarrollo del proyecto. La clave para la restauración de un paisaje constituido por mosaicos de remanentes de bosque consistió en proveer configuraciones de reforestación basadas en el *análisis espacial multicriterio*. A saber, la integración de factores sociales y físico-naturales proporcionó una base para el análisis espacial, mientras que los componentes biológicos y ecológicos permitieron refinar la selección de sectores con la mejor aptitud territorial para la *Cuniculus paca*. Este procedimiento fue necesario para lograr resultados ecológicamente consistentes y para evitar excluir *a priori* opciones valiosas de reforestación.

Asimismo, el uso de múltiples criterios basados en la distancia permitió capturar las variaciones de los píxeles: aspectos fundamentales para la construcción del mapa de aptitud territorial. Por su parte, la distancia representa un elemento significativo para la evaluación de la cercanía con focos de biodiversidad de tipos determinados y con fuentes de perturbación como pueblos y carreteras. En ese sentido, la disponibilidad de datos geográficos jugó un papel importante en la agrupación de los criterios.

La valoración adoptada potencia la idoneidad de los bosques próximos y reduce al mínimo los efectos de las fuentes de perturbación cercanas. En este último caso, la viabilidad resultó muy baja en todas las áreas de fácil acceso, lo que las dejó expuestas a la explotación. En ese sentido, para futuras investigaciones se considera ideal mejorar la eficacia de la metodología, seleccionando otro conjunto de datos que se relacionen con el nivel de adaptabilidad de la especie a las condiciones que le ofrece el medio.

Conclusiones

El área de estudio consiste en una zona de 1500 km² divididos en bosques nativos fragmentados (253.38 km²) y una matriz agrícola-urbana homogénea y de amplitud territorial considerable (1246.62 km²). Mediante la propuesta de conectores ecológicos se plantea la recuperación de un total de 143.76 km², con lo que se plantea contribuir a la restauración de la conectividad; el mejoramiento del hábitat terrestre de la *Cuniculus paca*; la disminución de los efectos negativos de la fragmentación, y la conservación de la biodiversidad.

La metodología empleada para la definición de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento es una de las pocas que se basa en criterios geográficos y biológicos dirigidos hacia la identificación de los espacios idóneos para el desarrollo del proyecto. Tal metodología es de gran utilidad a nivel de planificación y ordenamiento territorial.

Si bien esta propuesta corresponde a la especie *Cuniculus paca*, la metodología empleada puede ser adaptada a otros tipos de hábitats y especímenes. Así, para especies o grupos funcionales de especies asociadas a ecosistemas boscosos, tan solo hay que ajustar el ancho de los corredores ecológicos y las zonas de amortiguamiento a las áreas que requieran las especies para desarrollar sus hábitats.

Agradecimientos: Este trabajo de investigación fue apoyado por el Proyecto Prometeo de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) de la República de Ecuador, y por el Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Bibliografía

- Albuja, L., Almendariz, A., Barriga, R. y Mena, P. (1993). Inventario de los Vertebrados del Ecuador. En: *Investigación para la Conservación de la Diversidad Biológica en Ecuador* (pp. 83-103). Quito: Ecociencia.
- Bentrup, G. (2008). *Zonas de amortiguamiento para conservación: lineamientos para diseño de zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes. Informe Técnico Gral.* (SRS-109). Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal y Estación de Investigación Sur.
- Bonilla-Morales, M. M. B., Pulido, J. R. y Pacheco, R. M. (2014). Biología de la lapa (*Cuniculus paca* Brisson): una perspectiva para la zootecnia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(1), 129-142.
- Burkart, S., Gugerli, F., Senn, J., Kuehn, R. y Bolliger, J. (2016). Evaluating the Functionality of Expert-Assessed Wildlife Corridors with Genetic Data from Roe Deer. *Basic and Applied Ecology*, 17(1), 52-60.
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (Cites) (2009). *Apéndice III*. Ginebra: Cites.
- De León Mata, G. D., Álvarez, A. P. y Guerrero, J. H. M. (2014). Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, (84), 42-53.
- De Oliveira, F., Dos Santos, A., Da Silva, A., Nascentes, A., Coelho, F., Suemi, N., De Oliveira, T., Campos, A. y De Oliveira, G. (2010). *Delimitacao de corredores ecológicos no Arçgis 9.3*. Espiritu Santo: UFES.
- De Osmá Vargas-Machuca, A., Ramírez-Barajas, P., Roldán Tutivén, M, F., Ortiz Gómez, L. y Soledispa Bravo, Y. (2014). Patrones de actividad de tres especies de mamíferos cinegéticos en remanentes de bosque, Manabí, Ecuador. *Hippocampus*, 4, 3-7.
- Durães, R., Carrasco, L., Smith, T. B. y Karubian, J. (2013). Effects of Forest Disturbance and Habitat Loss on Avian Communities in a Neotropical Biodiversity Hotspot. *Biological Conservation*, 166, 203-211.
- García-Marmolejo, G., Chapa-Vargas, L., Weber, M. y Huber-Sannwald, E. (2015). Landscape Composition Influences Abundance Patterns and Habitat Use of Three Ungulate Species in Fragmented Secondary Deciduous Tropical Forests, Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 3, 744-755.
- Gao, Q. y Yu, M. (2013). Discerning Fragmentation Dynamics of Tropical Forest and Wetland During Reforestation, Urban Sprawl and Policy Shifts. *PloS One*, 9(11), e113140-e113140.
- Guneroglu, N., Acar, C., Dihkan, M., Karsli, F. y Guneroglu, A. (2013). Green Corridors and Fragmentation in South Eastern Black Sea Coastal Landscape. *Ocean & Coastal Management*, 83, 67-74.
- IUCN (2014). *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza*. Recuperado de <http://www.iucnredlist.org/>
- Johnstone, C. P., Lill, A. y Reina, R. D. (2014). Habitat Loss, Fragmentation and Degradation Effects on Small Mammals: Analysis with Conditional Inference. Tree Statistical Modelling. *Biological Conservation*, 176, 80-98.
- Loro, M., Ortega, E., Arce, R. M. y Geneletti, D. (2015). Ecological Connectivity Analysis to Reduce the Barrier Effect of Roads. An Innovative Graph-theory Approach to Define Wildlife Corridors with Multiple Paths and without Bottlenecks. *Landscape and Urban Planning*, 139, 149-162.

- Ministerio del Ambiente (2008). *Acuerdo N° 160*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente (2012). *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Peled, E., Shanas, U., Granjon, L. y Ben-Shlomo, R. (2016). Connectivity in Fragmented Landscape: Generalist and Specialist Gerbils Show Unexpected Gene Flow Patterns. *Journal of Arid Environments*, 125, 88-97.
- Rodríguez, E. y Ortega, A. M. (2012). *Valoración de unidades suministradoras de servicios de los ecosistemas. El caso de la Guanta Cuniculus paca*. Manta: Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Rodríguez-Soto, C., Monroy-Vilchis, O. y Zarco-González, M. M. (2013). Corridors for Jaguar (*Panthera onca*) in Mexico: Conservation Strategies. *Journal for Nature Conservation*, 21(6), 438-443.
- San Vicente, M. G. y Valencia, P. J. L. (2012). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos. Revista de Geografía*, (16), 35-54.
- San Vicente, M. G. (2014). Categorización de corredores ecológicos en función de su contribución a la conectividad de la red Natura 2000. Implicaciones para la ordenación del territorio. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (14), 68-84.
- Sierra, R. (2013). *Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años*. Quito: Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends.
- Tirira, D. (2007). *Guía de campo de los mamíferos del Ecuador. Publicación Especial sobre los Mamíferos del Ecuador 6*. Quito: Ediciones Murciélagos Blanco.
- Tirira, D. (2011). *Libro Rojo de los mamíferos del Ecuador. 2ª Edición. Publicación especial sobre mamíferos del Ecuador 8*. Quito: Fundación Mamíferos y Conservación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Tres, D. R. y Reis, A. (2007). La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. En *II Simposio Internacional sobre restauración ecológica*. Simposio llevado a cabo en Santa Clara, Cuba.
- Van Langevelde, F. (2015). Modelling the negative effects of landscape fragmentation on habitat selection. *Ecological Informatics*, 30, 271-276.
- Vergnes, A., Le Viol, I. y Clergeau, P. (2012). Green Corridors in Urban Landscapes Affect the Arthropod Communities of Domestic Gardens. *Biological Conservation*, 145(1), 171-178.
- Villemey, A., Van Halder, I., Ouin, A., Barbaro, L., Chenot, J., Tessier, P. y Archaux, F. (2015). Mosaic of Grasslands and Woodlands is More Effective than Habitat Connectivity to Conserve Butterflies in French Farmland. *Biological Conservation*, 191, 206-215.