



**Afectación de la representatividad ecológica por carreteras de cuarta generación en el Valle del Cauca, ¿son las compensaciones ambientales una oportunidad para la conservación?**

Sandra Lorena Gutierrez Yermanos

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Gestión Ambiental

Director:

Julio Eduardo Cañón Barriga, Doctor (PhD) en Hydrology and Water Resources

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gestión Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

<b>Cita</b>	(Gutierrez Yermanos & Cañón Barriga, 2022)
<b>Referencia</b>	Gutierrez Yermanos, S.L, & Cañón Barriga, J. E. (2022). <i>Afectación de la representatividad ecológica por carreteras de cuarta generación en el Valle del Cauca, ¿son las compensaciones ambientales una oportunidad para la conservación, 2022</i> [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Maestría en Gestión Ambiental, Cohorte IV.

Grupo de Investigación Gestión y Modelación Ambiental (GAIA).

Centro de Investigación Ambientales y de Ingeniería (CIA).



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Julio César Saldarriaga Molina.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## *Dedicatoria*

### ***A Dios***

*Por darme vida, salud y sabiduría para culminar la maestría.*

### ***A mi familia***

*Que sin ellos no hubiera logrado una meta más en mi vida profesional.*

*A mi esposo, gracias por estar a mi lado en esta etapa de mi vida, por tu apoyo, moral y entusiasmo que me brindaste para seguir adelante en mis propósitos.*

*A mi hija Sofía, que es mi motor y la razón de mi vida, que un día pueda leer esto y se sienta orgullosa de su madre.*

*A mis padres, porque siempre han creído en mí. Gracias.*

### ***A mis maestros***

*Por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a compartir sus conocimientos, sin su direccionamiento no hubiera llegado acá.*

*A mi director Julio Cañón por su disposición y persistencia para culminar la maestría; a mi asesor Mario, quien fue un apoyo fundamental en el desarrollo de la tesis.*

*A los expertos: M. Sc. Rodrigo Lozano Osorio, Anfibios y reptiles; M. Sc. Fabian Ospina Aves; M. Sc. Andres Quintero Ángel, por compartir sus conocimientos y hacer parte de este proceso.*

*Y, por último, a la empresa Proinsa por su apoyo económico y formación en el área ambiental a lo largo de mi vida profesional.*

## CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	7
2.	ABSTRACT .....	8
3.	INTRODUCCIÓN.....	1
4.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	2
5.	OBJETIVOS.....	3
5.1.	Objetivo General .....	3
5.2.	Objetivos Específicos .....	3
6.	MARCO TEÓRICO .....	4
6.1.	Compensaciones por pérdida de biodiversidad .....	4
6.2.	Representatividad de filtro grueso y fino .....	5
6.3.	Evaluación de los efectos de las compensaciones .....	6
7.	METODOLOGÍA .....	8
7.1.	Representatividad ecológica (filtro grueso).....	8
7.2.	Representatividad ecológica (filtro fino).....	9
7.3.	Compensaciones por pérdida de diversidad .....	12
8.	RESULTADOS .....	13
8.1.	Representatividad ecológica (filtro grueso).....	14
8.2.	Representatividad ecológica (filtro fino).....	17
8.3.	Compensaciones por pérdida de diversidad .....	24
9.	DISCUSIÓN.....	26
10.	CONCLUSIONES.....	31
11.	REFERENCIAS .....	33

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las 19 variables bioclimáticas de WorldClim.....	11
Tabla 2. Carreteras 4G en el Valle del Cauca, áreas afectadas y áreas de compensación.....	14
Tabla 3. Ecosistemas presentes en el Valle del Cauca, porcentaje en áreas protegidas y áreas afectadas por construcción de proyectos 4G. ....	14
Tabla 4. Especies prioritarias para la conservación detectadas en el área de afectación de las carreteras 4G en el Valle del Cauca.....	17
Tabla 5. Resultados de modelos de distribución potencial para las especies prioritarias para la conservación detectadas en las carreteras 4G en el Valle del Cauca.....	17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los proyectos viales 4G en el Valle del Cauca.....	13
Figura 2. Ecosistemas con representatividad ecológica de filtro grueso en el Valle del Cauca.....	15
Figura 3. Porcentaje de representatividad de ecosistemas en el Valle del Cauca.....	16
Figura 4. Porcentaje de ecosistemas afectados por la construcción de carreteras 4G. ....	17
Figura 5. Porcentaje de representatividad de especies prioritarias para la conservación en el Valle del Cauca.....	17
Figura 6. Mapa de distribución potencial de <i>Andinobates bombetes</i> .....	17
Figura 6. Mapa de distribución potencial de <i>Lepodoplepharis duolepis</i> .....	18
Figura 7. Mapa de distribución potencial de <i>Ortalis columbiana</i> .....	19
Figura 8. Mapa de distribución potencial de <i>Picumnus granadensis</i> .....	20
Figura 9. Mapa de distribución potencial de <i>Psittacara wagleri</i> .....	21
Figura 10. Mapa de distribución potencial de <i>Myiarchus apicalis</i> .....	22
Figura 11. Mapa de distribución potencial de <i>Lontra longicaudis</i> .....	23
Figura 12. Mapa de distribución potencial de <i>Zygodontomys brunneus</i> .....	24
Figura 13. Área afectada y Área a compensar por la construcción de carreteras 4G. ....	25
Figura 14. Variación del porcentaje de áreas protegidas para los ecosistemas afectados por las carreteras 4G.....	26

## 1. RESUMEN

Este proyecto evalúa la afectación de la representatividad ecosistémica (filtro grueso) y de especies prioritarias para la conservación (filtro fino) generada por la construcción de carreteras de cuarta generación (4G) en el departamento del Valle del Cauca. El proyecto analiza cómo las compensaciones previstas por estas afectaciones pueden aumentar el área del sistema de áreas protegidas del Valle del Cauca, incrementando la representatividad a nivel de filtro fino y grueso. Para ello, se calculó el área de cada ecosistema en el Valle del Cauca, su proporción en áreas protegidas y el área afectada por la construcción de las carreteras 4G. Igualmente, se cuantificó el área afectada por la construcción de las carreteras y el impacto en la distribución de vertebrados terrestres prioritarios para la conservación (endémicos y amenazados a nivel nacional y mundial). Se consideró que un ecosistema o una especie será afectada en su representatividad si, debido a la construcción de las carreteras 4G, menos del 30% de su área de distribución se encuentra en áreas protegidas. Para ello se analizó la extensión geoespacial de los ecosistemas del Valle del Cauca y se calculó el área total en zonas protegidas. Finalmente, se estableció el área potencial de distribución de las especies prioritarias para la conservación con modelos de distribución basados en algoritmos de máxima entropía. Se encontró que el Valle del Cauca tiene un 26,67% de su territorio en áreas protegidas y sólo 22 de los 41 ecosistemas del departamento tienen representatividad de filtro grueso. Ocho especies importantes para la conservación se consideran afectadas por las vías 4G y ninguna de ellas tiene una representatividad a nivel de filtro fino en el Valle del Cauca. Los proyectos 4G sólo tendrán áreas de intervención en 373,39 ha en cuatro ecosistemas, por lo cual deben ser compensadas 1.651 ha. Como el área impactada es relativamente baja, en principio las vías no afectarán significativamente la representatividad de especies y ecosistemas. Igualmente, las áreas generadas por compensación no repercutirán significativamente en el aumento de representatividad de especies y ecosistemas. Se encontraron vacíos en el sistema de áreas protegidas del Valle del Cauca en el Valle Geográfico del Río Cauca y los ecosistemas de bosque seco tropical, por lo que se recomienda establecer áreas protegidas en estas zonas para asegurar la conservación de la biodiversidad en el departamento.

**Palabras clave:** Compensación, especies prioritarias, biodiversidad, representatividad ecosistémica, áreas protegidas, conservación filtro grueso, conservación filtro fino, infraestructura vial.

## 32 2. ABSTRACT

33 We evaluated the impact generated by the construction of fourth generation (4G) roads in the  
34 department of Valle del Cauca, on fine- and coarse-filter conservation strategies. Likewise,  
35 we evaluated how the compensations established for these affectations can increase the area  
36 of the system of protected areas of Valle del Cauca. We calculated the area of each ecosystem  
37 in the Valle del Cauca, its proportion in protected areas and the area affected by the  
38 construction of 4G roads. Afterwards, we quantified the area affected by the construction of  
39 4G roads and the impact on the distribution of terrestrial vertebrates considered a priority for  
40 conservation (endemic species and threatened species nationally and globally) in Valle del  
41 Cauca. We considered that an ecosystem or a species will be affected in its representativeness  
42 if, due to the construction of 4G highways, less than 30% of its distribution area is in  
43 protected areas. We analyzed the extension of the ecosystems of Valle del Cauca, and we  
44 calculated the total area in protected areas in Valle del Cauca. Finally, we calculated the  
45 potential distribution area of the priority species in the Valle del Cauca, using maximum  
46 entropy algorithms to estimate the distribution. We found that the Valle del Cauca has  
47 26.67% of its land area in protected areas and 22 of the 41 ecosystems have a  
48 representativeness at the level of coarse filter. We found eight species important for  
49 conservation affected by the 4G roads and none of them exhibit representativeness at the fine  
50 filter level in Valle del Cauca. 4G projects will only affect 373.39 ha of four ecosystems, for  
51 which 1655.55 ha must be compensated. Therefore, the area impacted by 4G roads has a very  
52 low extension and their construction will not significantly affect the fine- and coarse-filter  
53 representativeness; in the same way, the number of areas that will be incorporated by  
54 compensation will not have a significant impact on the increased fine- and coarse-filter  
55 representativeness. We found gaps in the system of protected areas of Valle del Cauca  
56 concentrated in the Geographical Valley of the Cauca River and the ecosystems of tropical  
57 dry forests, for which we recommended to establish protected areas in these ecosystems to  
58 ensure the significant conservation of the existing biodiversity in the department.

59  
60 **Keywords:** Compensation, target species, biodiversity, ecosystem representativeness, protected  
61 area, coarse filter conservation, fine filter conservation, road infrastructure.



### 62 3. INTRODUCCIÓN

63 El desarrollo humano genera efectos negativos como la reducción de poblaciones,  
64 reducción de la biodiversidad y la extinción de especies debido al cambio de las coberturas  
65 naturales y el cambio de los ciclos biogeoquímicos (Dale et al., 2000; Forman et al., 2003;  
66 Sandifer et al., 2015). Por lo tanto, el desarrollo sostenible tiene como objetivo la mitigación de  
67 los efectos negativos del desarrollo humano y la conservación de la calidad ambiental (Pope et  
68 al., 2004, Villarroya et al., 2014; Osborn et al., 2015). La jerarquía de mitigación establece que se  
69 debe evitar, minimizar y por último compensar, con el objetivo de disminuir los impactos  
70 negativos del desarrollo humano (Darbi et al., 2009, Villarroya et al., 2014; Bull & Brownlie,  
71 2017).

72 Las carreteras son proyectos lineales que se desarrollan en largas distancias, afectando la  
73 biodiversidad a nivel local y regional (Bernes et al., 2017). Los impactos directos incluyen  
74 pérdida de hábitat, perturbación biótica y atropellamientos (Vaiškūnaitė et al., 2012). Por lo tanto,  
75 el desarrollo vial se constituye en un gran generador de impactos ambientales a nivel mundial  
76 (Villarroya et al., 2014). Colombia ha registrado un crecimiento económico en los últimos años  
77 que se ha evidenciado en el desarrollo de infraestructura vial (Sáenz, 2013). El programa de  
78 Cuarta Generación (4G) de Concesiones Viales de Colombia o carreteras 4G, es un programa de  
79 infraestructura vial que plantea la construcción de más de 8.000 km de carreteras en 27 diferentes  
80 proyectos (Andrade-Moreno, 2015), teniendo como objetivo la construcción y adecuación de vías  
81 de calidad para alcanzar el crecimiento adecuado en las diversas actividades económicas de  
82 Colombia (Mosquera-Laverde & Vásquez-Bernal, 2015).

83 Específicamente, en el Valle del Cauca se están desarrollando tres proyectos 4G (Buga-  
84 Buenaventura, Mulaló-Loboguerrero y Ibagué-La Paila) (Andrade-Moreno, 2015), los cuales  
85 están afectando ecosistemas naturales, áreas protegidas y especies prioritarias para la  
86 conservación, alterando las coberturas naturales, los hábitats de la fauna silvestre y aumentando  
87 los atropellamientos de la fauna silvestre (Resoluciones 0488 de 2015, 0092 de 2017, 00998 de  
88 2018, 0429 de 2014, 1096 de 2016 y Resolución 1096 de 2016).

89 Los conceptos de filtro fino y grueso buscan conservar la representatividad de cada  
90 comunidad ecológica o especies importantes para la conservación (Noss, 1987; Groves, 2003;  
91 Dietz & Czech, 2005, Crosby et al., 2020). La representatividad se entiende como el porcentaje

92 de ecosistemas o distribución de las especies en áreas protegidas (Coad et al., 2009). Las áreas  
93 protegidas son espacios geográficos definidos, dedicados a la conservación a largo plazo de la  
94 naturaleza, servicios ecosistémicos y valores culturales asociados (Dudley et al., 2010) y se  
95 consideran la principal defensa contra amenazas como la destrucción de los hábitats (Pimm et al.,  
96 2001; Watson et al., 2014; Geldmann et al., 2019). Por esta razón, la disminución en cantidad o  
97 en calidad de las áreas protegidas como consecuencia del desarrollo de proyectos conduce a la  
98 pérdida de biodiversidad. para mitigar los efectos de proyectos de infraestructura, el Ministerio  
99 de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha establecido una estrategia nacional de compensaciones  
100 del componente biótico (MADS, 2018). Las medidas de compensación tienen como objetivo  
101 resarcir a la biodiversidad por los impactos que no pueden ser evitados, corregidos, mitigados o  
102 sustituidos y que conllevan a la pérdida de la biodiversidad. De esta manera, se espera que se  
103 garantice la conservación efectiva de un área ecológicamente equivalente donde se logre  
104 establecer una estrategia de conservación, a fin de que, al comparar con la línea base, se garantice  
105 la no pérdida neta de biodiversidad (BBOP, 2009.).

106 Por lo tanto, se hace necesario evaluar cómo la construcción de estos proyectos 4G está  
107 afectando la representatividad ecosistémica y de especies prioritarias para la conservación en el  
108 departamento del Valle del Cauca. Adicionalmente, ya que la estrategia de compensación busca  
109 contribuir a la creación y consolidación de áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas –  
110 SINAP, y una de las formas a compensar es la declaración de nuevas tierras como áreas de  
111 protección, es importante evaluar cómo podrían contribuir estas compensaciones al sistema  
112 regional de áreas protegidas, bajo el supuesto de que todas las compensaciones establecidas  
113 generen áreas protegidas

114

#### 115 **4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

116 Esta investigación evalúa si las compensaciones proyectadas por la construcción de las  
117 carreteras 4G afectan la representatividad ecológica a nivel ecosistémico (estrategia de  
118 conservación filtro grueso) y de la distribución de especies prioritarias para la conservación en el  
119 Valle del Cauca (estrategia de conservación filtro fino). También analiza si las áreas que deben  
120 ser compensadas por la intervención realizada, con base en el supuesto de creación de reservas,  
121 pueden contribuir a ampliar el sistema de áreas protegidas. De este modo, la pregunta de

122 investigación es: ¿Cómo afectan las carreteras 4G y sus propuestas de compensación a la  
123 representatividad ecológica y la conservación del Departamento del Valle del Cauca,  
124 implementando la metodología de filtro fino y grueso?

125 Por lo tanto, se plantea como hipótesis de base que, debido a que los ecosistemas que  
126 están siendo o van a ser afectados por las carreteras 4G presentan una gran distribución y existe  
127 relativamente poca afectación de áreas protegidas, se considera que las compensaciones  
128 propuestas por estos proyectos viales no impactarán significativamente la representatividad  
129 ecosistémica o de especies prioritarias para la conservación existente en el departamento del  
130 Valle del Cauca.

131

## 132 **5. OBJETIVOS**

### 133 **5.1. Objetivo General**

134 Evaluar la afectación de la representatividad ecosistémica y del área de distribución de las  
135 especies prioritarias para la conservación de vertebrados terrestres, generada por la construcción  
136 y compensación de carreteras de cuarta generación en el Valle del Cauca.

### 137 **5.2. Objetivos Específicos**

138 Calcular el área afectada por ecosistemas en la construcción de carreteras 4G en el Valle del  
139 Cauca.

140 Calcular el área a ser compensada debido a la construcción de carreteras 4G en el Valle del  
141 Cauca.

142 Generar mapas de la representatividad ecológica de los ecosistemas de distribución potencial de  
143 especies importantes para la conservación afectadas por la construcción de carreteras 4G en el  
144 Valle del Cauca.

145

## 146 6. MARCO TEÓRICO

### 147 6.1. Compensaciones por pérdida de biodiversidad

148 El concepto de compensación ecológica se puede asimilar como la sustitución de las  
149 funciones y cualidades ecológicas que son impactadas por el desarrollo humano (Cuperus et al.,  
150 1999, Conway et al., 2013; Koh et al., 2017). Las estrategias de compensación se utilizan en la  
151 planificación vial en muchos países desarrollados como Alemania, los Países Bajos, Estados  
152 Unidos, Inglaterra y Suecia (Skärbäck, 2007). En algunos países, las medidas de compensación  
153 son parte del procedimiento formal de planificación. En otros países no existe una legislación  
154 especial para la compensación, exceptuando algunos párrafos en los códigos ambientales  
155 generales (Persson et al., 2015). Sin embargo, muchos países desarrollados están comenzando a  
156 implementar medidas de compensación de forma regular (Skärbäck, 2007; Villarroya et al., 2014)  
157 y otros como Estados Unidos llevan implementando estas acciones durante más de tres décadas  
158 (Sonter *et al.*, 2019).

159 En el caso de Colombia, la asignación de compensaciones ambientales para el  
160 componente biótico se reglamentó mediante la Resolución 1517 de 2012, por medio de la cual se  
161 adoptó un “manual de asignación de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad”, aplicable a  
162 los proyectos, obras, o actividades sujetas a licenciamiento ambiental de competencia de la  
163 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) (Ministerio De Ambiente Y Desarrollo  
164 Sostenible 2012; Sáenz, 2016; Murcia et al., 2017). En este documento se establece como  
165 determinar y cuantificar las medidas de compensación por pérdida de biodiversidad, bajo la  
166 jerarquía de la mitigación, es decir, como se pueden compensar impactos a la biodiversidad que  
167 no puedan ser evitados, mitigados o corregidos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible  
168 2012). Además, se establece que las medidas de compensación son acciones que tienen como  
169 objetivo final garantizar la no pérdida neta de biodiversidad (BBOP, 2012). Este manual  
170 establece los pasos que deben realizarse para determinar y cuantificar las medidas de  
171 compensación por pérdida de biodiversidad, respondiendo tres inquietudes fundamentales: i)  
172 cuánto compensar, ii) dónde compensar y iii) cómo compensar. Posteriormente, se actualizó este  
173 manual, teniendo en cuenta las lecciones aprendidas de años de implementación y los  
174 intercambios de experiencias nacionales e internacionales, estableciéndose El Manual de  
175 *Compensaciones del Componente Biótico* (MADS, 2018).

176 Soto y Sarmiento (2014), realizaron un análisis de retos legales, institucionales,  
177 financieros y técnicos para la implementación de compensaciones generadas por la explotación  
178 de hidrocarburos en Colombia, en el que establecen la necesidad de contar con portafolios de  
179 áreas prioritarias para la conservación que puedan ser utilizadas para las compensaciones por  
180 pérdida de biodiversidad. Posteriormente, en el marco de América Latina, López Arbeláez &  
181 Quintero-Sagre (2015), analizaron la literatura existente de compensaciones establecidas y  
182 generaron recomendaciones para la implementación de las compensaciones en el contexto  
183 colombiano. Ariza-Pardo y Moreno-Hincapié (2017), realizaron un análisis bibliográfico  
184 comparativo de las compensaciones ambientales por pérdida de biodiversidad a nivel nacional e  
185 internacional, encontrando falencias en el manual de compensaciones del componente biótico de  
186 2018 que no permiten procesos de compensación satisfactorios. Entre estas fallas, se destaca que  
187 los períodos de compensación son muy cortos y que los lineamientos no se pueden articular con  
188 la normatividad vigente. Al mismo tiempo, diferentes corporaciones regionales de Colombia  
189 establecieron portafolios de áreas prioritarias para la conservación y compensación por pérdida  
190 de biodiversidad (Corporación Autónoma Regional del Tolima & Programa Medio Ambiente  
191 Colombia – GIZ, 2017).

## 192 **6.2. Representatividad de filtro grueso y fino**

193 La estrategia de conservación de filtro grueso busca conservar proporciones  
194 representativas de cada comunidad ecológica o ecosistema dentro de áreas protegidas (Noss,  
195 1987; Groves, 2003; Dietz & Czech, 2005, Crosby et al., 2020). Este análisis, que relaciona el  
196 área con el número de especies, establece que se debe proteger el 30% y 50% del área para  
197 conservar el 90% de las especies que habitan en ellos (Soulé & Sanjayan, 1998; Groves, 2003;  
198 Kuuluvainen et al., 2017). Sin embargo, algunos programas de conservación ponen como  
199 objetivo la conservación de al menos el 10% del área de cada ecosistema para asegurar una  
200 representatividad de filtro grueso, debido a los costos asociados (Dietz & Czech, 2005). Pese a  
201 esto, algunos estudios reconocen que estas proporciones no son suficientes para la conservación  
202 ecosistémica a largo plazo (Fahrig, 2001; Jenkins et al., 2021). Desde la década de los noventa,  
203 muchas investigaciones indican que este tipo de estrategia no asegura la identidad genética y  
204 estructural de poblaciones y ecosistemas (Noss, 1990; Scott et al., 2001; Jenkins et al., 2021). Por  
205 lo tanto, un valor de consenso consideraría que, como mínimo, se debe conservar el 30% de los

206 ecosistemas en áreas protegidas para asegurar una representatividad de filtro grueso (Groves,  
207 2003; Maxwell et al., 2020).

208 Por otra parte, la estrategia de conservación de filtro fino tiene como objetivo la  
209 conservación de especies, especialmente de aquellas que se consideren prioritarias para la  
210 conservación (Tingley et al., 2014). Generalmente, las especies prioritarias son aquellas que  
211 tienen un alto riesgo de extinción debido a factores intrínsecos de su biología, historias de vida  
212 lenta, distribuciones restringidas, o sobreexplotación por los humanos (Purvis et al., 2000;  
213 McGowan et al., 2020). Por lo tanto, el establecimiento de áreas protegidas para la conservación  
214 de especies determinadas es una estrategia normalmente usada para asegurar el mantenimiento de  
215 poblaciones viables. Al igual que con el concepto de filtro grueso, el porcentaje de área ideal para  
216 proteger con filtro fino presenta variaciones, con un valor de consenso alrededor del 30% (Van  
217 der Hoek et al., 2015).

218 Ambas estrategias de conservación se consideran complementarias, por lo que deben ser  
219 implementadas conjuntamente para asegurar la conservación de la biodiversidad regional y global  
220 (Tingley et al., 2014).

### 221 **6.3. Evaluación de los efectos de las compensaciones**

222 Aunque las compensaciones por pérdida de biodiversidad se utilizan cada vez más para  
223 mitigar los efectos negativos que producen las obras de infraestructura y alcanzar un desarrollo  
224 sostenible, es importante verificar cómo se realizan estas compensaciones (Pilgrim et al., 2013;  
225 Koh et al., 2017). Estados Unidos es el país que representa el mayor desarrollo en la verificación  
226 de la implementación de las compensaciones, estableciendo una guía con los lineamientos a  
227 seguir para evaluarlas (Business and Biodiversity Offsets Programme 2012).

228 Dentro de estos lineamientos se recomienda que en los análisis de verificación se realicen  
229 actividades como: i. Verificar la presencia de especies en el área afectada; ii. Establecer la  
230 intensidad de los impactos para calcular cuánto y durante cuánto tiempo se debe compensar; iii.  
231 Verificar que en las áreas a compensar se encuentran las coberturas naturales afectadas y los  
232 elementos importantes para lograr una compensación efectiva; iv. Verificar las estrategias  
233 implementadas en la zona de compensación, v. Analizar las presiones y condiciones del área a  
234 compensar para establecer probabilidad de éxito en la compensación.

235 Otros países han desarrollado lineamientos y legislaciones similares (Briggs et al., 2009;  
236 Koh et al., 2017; May et al, 2017), siendo las entidades gubernamentales las que deben evaluar y  
237 controlar que los planes de compensación cumplan con las actividades descritas anteriormente.  
238 En el caso de Colombia, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) se encarga de  
239 verificar el cumplimiento de los planes de compensación, los cuales se encuentran enmarcados  
240 dentro del Manual de compensaciones del componente biótico (MADS 2018).

241 A nivel investigativo, múltiples autores han evaluado los efectos de las compensaciones a  
242 través de la verificación de planes de compensación y sus informes de seguimiento; encontrando  
243 que las compensaciones que adolecen de procesos de mantenimiento y seguimiento son poco  
244 exitosas (e.g. Brown & Veneman, 2001; Matthews & Endress, 2008; May et al., 2017). Similares  
245 aproximaciones han sido usadas en Colombia (Mosquera-Laverde & Vásquez-Bernal, 2015),  
246 encontrando problemas de implementación en las compensaciones, ya que muchos de los planes  
247 no son implementados o porque las actividades se revierten una vez se vence el tiempo de  
248 cumplimiento. Al analizar los efectos e implementaciones de las compensaciones, solo existe un  
249 referente de la aplicación del Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de  
250 biodiversidad en el sector de infraestructura vial en Colombia (Mosquera-Laverde & Vásquez-  
251 Bernal, 2015). En este metaanálisis se identificaron problemas al establecer las compensaciones  
252 por proyectos viales, pero no se cuantifica su afectación. Adicionalmente, en Colombia se realizó  
253 un análisis de la implementación de bancos de hábitat como modelo de compensación de los  
254 impactos generados por proyectos de infraestructura (Urbina-Restrepo, 2020). Este tipo de  
255 estrategia permitiría disminuir los problemas identificados en las compensaciones de pérdida de  
256 diversidad a nivel de trazabilidad, calidad y sostenibilidad, debido a que las autoridades  
257 ambientales podrían hacer seguimiento a las compensaciones al estar establecidas en lugares  
258 preestablecidos por las autoridades ambientales (Urbina-Restrepo, 2020). Sin embargo, no  
259 existen análisis cuantitativos del efecto de los desarrollos viales y el efecto de estas  
260 compensaciones a nivel de su contribución al sistema de áreas protegidas.

261 Sin embargo, trabajos similares al de nuestro proyecto, donde se analiza el efecto de  
262 proyectos de infraestructura a nivel cuantitativo sobre la representatividad ecológica, no existen  
263 en Colombia o Latinoamérica según la revisión bibliográfica realizada, aunque a nivel mundial se

264 pueden destacar algunos análisis realizados en Australia, donde se cuantifica el impacto sobre la  
265 diversidad de las áreas utilizadas para compensar (Gibbons et al., 2018).

266

## 267 7. METODOLOGÍA

268 Para todos los análisis realizados en esta propuesta se utilizó como marco de referencia el  
269 territorio político del Departamento del Valle del Cauca.

### 270 7.1. Representatividad ecológica (filtro grueso)

271 En primer lugar, se calculó la extensión de los ecosistemas del Valle del Cauca utilizando  
272 las capas de polígonos de los ecosistemas presentes en el Geovisor de la Corporación Autónoma  
273 Regional del Valle del Cauca (Montoya - Colonia, 2010), con base en la información disponible  
274 para el primero de junio de 2021. Estos ecosistemas fueron delimitados con base en la integración  
275 de información temática de geopedología, zonificación climática y cobertura del suelo (Montoya  
276 - Colonia, 2010). Posteriormente, utilizando la información disponible en el RUNAP para el  
277 primero de junio de 2021 (<http://runap.parquesnacionales.gov.co/>), se estableció el área total que  
278 posee el Valle del Cauca en zonas protegidas, tanto a nivel regional como nacional. Después, se  
279 calculó el área total afectada por las carreteras 4G en el Valle del Cauca y los ecosistemas  
280 afectados, con base en los expedientes de las resoluciones emitidas por autoridades ambientales  
281 (ANLA - CVC).

282 Para el manual de compensaciones del medio biótico la representatividad es estimada con base en  
283 la extensión de los biomas y las áreas protegidas RUNAP dentro de él.

284

$$285 \text{ Representatividad (\%)} = \left( \frac{\text{Área de BIOMA IAVH dentro de una categoría de protección}}{\text{Área total del BIOMA IAVH de protección}} \right) * 100$$

286

287 Como la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC tiene su propia  
288 clasificación de los ecosistemas del departamento, en esta investigación, se utiliza como unidad  
289 de análisis los ecosistemas contenidos en el Geovisor de la Corporación Autónoma Regional del  
290 Valle del Cauca (Montoya - Colonia, 2010).



291 Finalmente, por medio del traslape de capas, se calculó la proporción de cada ecosistema  
292 del Valle del Cauca que será afectado por las carreteras 4G y se estableció si se perturban áreas  
293 de estos ecosistemas dentro de áreas protegidas. Todos los análisis espaciales fueron hechos con  
294 el programa ArcGIS 2011 (ESRI, 2011), a través de los análisis de superposición.

295 Se estableció si la representatividad de algún ecosistema será afectada por la construcción  
296 de las vías 4G, teniendo como criterio que al menos el 30% de cada ecosistema debe mantenerse  
297 en áreas protegidas luego de la construcción de las vías 4G y teniendo en cuenta que previamente  
298 estos ecosistemas poseen representatividad.

## 299 **7.2. Representatividad ecológica (filtro fino)**

300 Para analizar cómo se afecta la representatividad de especies prioritarias para la  
301 conservación, primero se determinó cuáles de estas especies se encuentran dentro de las zonas de  
302 afectación de las carreteras 4G en el Valle del Cauca. Para este proyecto se consideran como  
303 especies prioritarias para la conservación las de distribución restringida (endémicas) y las  
304 especies registradas dentro de alguna categoría de amenaza a nivel nacional o internacional.

305 Segundo, se calculó el área de distribución geográfica total de esas especies prioritarias  
306 para la conservación, así como el porcentaje de su distribución dentro de áreas protegidas. Para  
307 establecer la distribución de las especies sensibles se modeló la distribución potencial de estas  
308 especies con el algoritmo de máxima entropía en el programa MaxEnt 3.4.1 (Phillips & Dudik.,  
309 2008). Maxent estima la distribución de probabilidad del objetivo a través de la distribución de  
310 probabilidad de máxima entropía (cercana a la uniforme), delimitado por un conjunto de reglas  
311 para representar la información incompleta acerca de la distribución de destino. La información  
312 disponible acerca de la distribución de destino por sí misma se presenta como un conjunto de  
313 covariables conocidas como características y se esperan restricciones de cada característica que  
314 debe corresponder a sus valores medios de la muestra. Ya que los registros de presencia de las  
315 especies se utilizan para modelar la distribución, los píxeles del área de estudio son el espacio en  
316 el que se delimita la distribución de probabilidad, los píxeles para registrar las ocurrencias de  
317 especies conocidas son los puntos de muestreo, las características son las covariables de clima,  
318 topografía, suelos, vegetación y otras covariables ambientales (Cruz-Cárdenas et al., 2014).

319           Se hizo una búsqueda en bases de datos que contienen registros geográficos de especies  
320 ya sea por registro en campo o por estar depositados en un museo como: HerpNet, Species Link,  
321 Red Mundial de Información sobre Biodiversidad-REMIB, Global Biodiversity Information  
322 Facility. A estos datos se adicionaron registros entregados por los expertos consultados. Con el  
323 índice de Moran, se excluyeron los puntos que presentaban autocorrelación espacial.  
324 Posteriormente, se usaron las 19 capas climáticas de WorldClim V1.4 (Tabla 1), con una  
325 resolución espacial de 30 segundos de arco (1 km<sup>2</sup> aproximadamente), para la selección de las  
326 variables que determinan la distribución de estas especies (Dormann et al., 2012).  
327 Posteriormente, se realiza una correlación de Pearson entre los valores de las variables  
328 previamente extraídas con el fin de excluir las variables con alta correlación (0,9) y reducir el  
329 número de variables. Las variables se excluyeron con ayuda de los expertos para mantener en el  
330 modelo aquellas que tienen una incidencia biológica sobre la especie que está siendo analizada.  
331 Para la modelación, se utilizó el 80% de los puntos de ocurrencia para la calibración del modelo.

332           También se realizaron ajustes lineales y cuadráticos con formato de salida logística,  
333 obteniendo valores continuos de la probabilidad de adecuación ambiental de la especie entre 0 y  
334 1. Se utilizó la técnica de área bajo la curva (AUC) como criterio para evaluar el modelo  
335 obtenido, generado a partir de la creación de valores de pseudoausencia, teniendo en cuenta las  
336 variables predictoras y el 20% de los puntos de ocurrencia. El valor de AUC se consideró óptimo  
337 por encima de 0.5 (Elith et al., 2006).

338

339

340

Tabla 1. Descripción de las 19 variables bioclimáticas de WorldClim.

Nombre de la variable	Explicación
BIO1 = Annual Mean Temperature	La media de todas las temperaturas medias mensuales. Cada temperatura media mensual es la media de la temperatura máxima y mínima de ese mes.
BIO2 = Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))	La media anual de todos los rangos de temperatura diurnos mensuales. Cada rango diurno mensual es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima de ese mes.
BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) ( $\times 100$ )	El rango diurno medio (parámetro 2) dividido por el rango de temperatura anual devuelve:
BIO4 = Temperature Seasonality (standard deviation $\times 100$ )	El coeficiente de variación de temperatura como la desviación estándar de las temperaturas medias mensuales expresada como un porcentaje de la media de esas temperaturas (es decir, la media anual). Para este cálculo, se utiliza la media en grados Kelvin. Esto evita la posibilidad de tener que dividir por cero, pero significa que los valores suelen ser bastante pequeños, y la desviación estándar de las temperaturas medias mensuales.
BIO5 = Max Temperature of Warmest Month	La temperatura más alta de cualquier temperatura máxima mensual.
BIO6 = Min Temperature of Coldest Month	La temperatura más baja de cualquier temperatura mínima mensual.
BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)	La diferencia entre la temperatura máxima del período más cálido y la temperatura mínima del período más frío.
BIO8 = Mean Temperature of Wettest Quarter	Se determina el trimestre más húmedo del año (al mes más cercano) y se calcula la temperatura media de este período.
BIO9 = Mean Temperature of Driest Quarter	Se determina el trimestre más seco del año (al mes más cercano) y se calcula la temperatura media de este período.
BIO10 = Mean Temperature of Warmest Quarter	Se determina el trimestre más cálido del año (al mes más cercano) y se calcula la temperatura media de este período.
BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter	Se determina el trimestre más frío del año (al mes más cercano) y se calcula la temperatura media de este período.
BIO12 = Annual Precipitation	La suma de todas las estimaciones de precipitación mensual.
BIO13 = Precipitation of Wettest Month	La precipitación del mes más húmedo.
BIO14 = Precipitation of Driest Month	La precipitación del mes más seco.
BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	El coeficiente de variación es la desviación estándar de las estimaciones de precipitación mensual expresada como un porcentaje de la media de esas estimaciones (es decir, la media anual).
BIO16 = Precipitation of Wettest Quarter	Se determina el trimestre más húmedo del año (al mes más cercano) y se calcula la precipitación total durante este período.
BIO17 = Precipitation of Driest Quarter	Se determina el trimestre más seco del año (al mes más cercano) y se calcula la precipitación total durante este período.
BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter	Se determina el trimestre más cálido del año (al mes más cercano) y se calcula la precipitación total durante este período.
BIO19 = Precipitation of Coldest Quarter	Se determina el trimestre más frío del año (al mes más cercano) y se calcula la precipitación total durante este período.

341

Fuente: worldclim.org

342 El modelo final de distribución potencial fue obtenido a partir de 500 iteraciones y 10  
343 repeticiones, usando como modelo de remuestreo el *Bootstrap*. Las estimaciones del área de  
344 ocupación de las diferentes especies y los mapas de distribución en el departamento se realizaron  
345 con el uso del software ArcGIS 2011 (ESRI, 2011). El mapa final para cada especie corresponde  
346 a los lugares donde las especies presentan más del 50% de probabilidad de la distribución según  
347 los modelos establecidos. Los lugares con probabilidades menor se eliminaron ya que  
348 ecológicamente pueden corresponder a localidades sumidero donde la especie puede distribuirse,  
349 pero su población no presenta crecimiento poblacional o a localidades con condiciones no ideales  
350 para la persistencia de la especie (McPherson & Jetz, 2007; Dormann et al., 2018).

351 Esta distribución fue corroborada con expertos (M. Sc. Rodrigo Lozano Osorio, Anfibios  
352 y reptiles; M. Sc. Fabian Ospina Aves; M. Sc. Andres Quintero Ángel), realizando secciones  
353 virtuales de presentación y análisis de datos para refinar la distribución y validar la información.  
354 Para todas las especies los expertos establecieron la necesidad de cortar la distribución según las  
355 altitudes conocidas para las especies, ya que los gradientes altitudinales representan restricciones  
356 fisiológicas y de competencia para la distribución de las especies (MacArthur, 1984; Stevens,  
357 1992; Körner, 2007, 2018; Schumm et al., 2020). Para el caso de la especie *Lontra longicaudis* se  
358 realizó un corte adicional restringiéndola a cuerpos de agua ya que es una especie acuática  
359 (Larivière, 1999; Franco-Pérez et al., 2020). Finalmente, se superpusieron las distribuciones de  
360 cada especie con la distribución de las áreas protegidas del Valle del Cauca y el área de  
361 afectación de las carreteras 4G, calculando si las 4G afectan la representatividad de cada una de  
362 las especies, entendiendo que se asegura una representatividad para cada especie si al menos el  
363 30% del área de su distribución se encuentra dentro de áreas protegidas.

### 364 **7.3. Compensaciones por pérdida de diversidad**

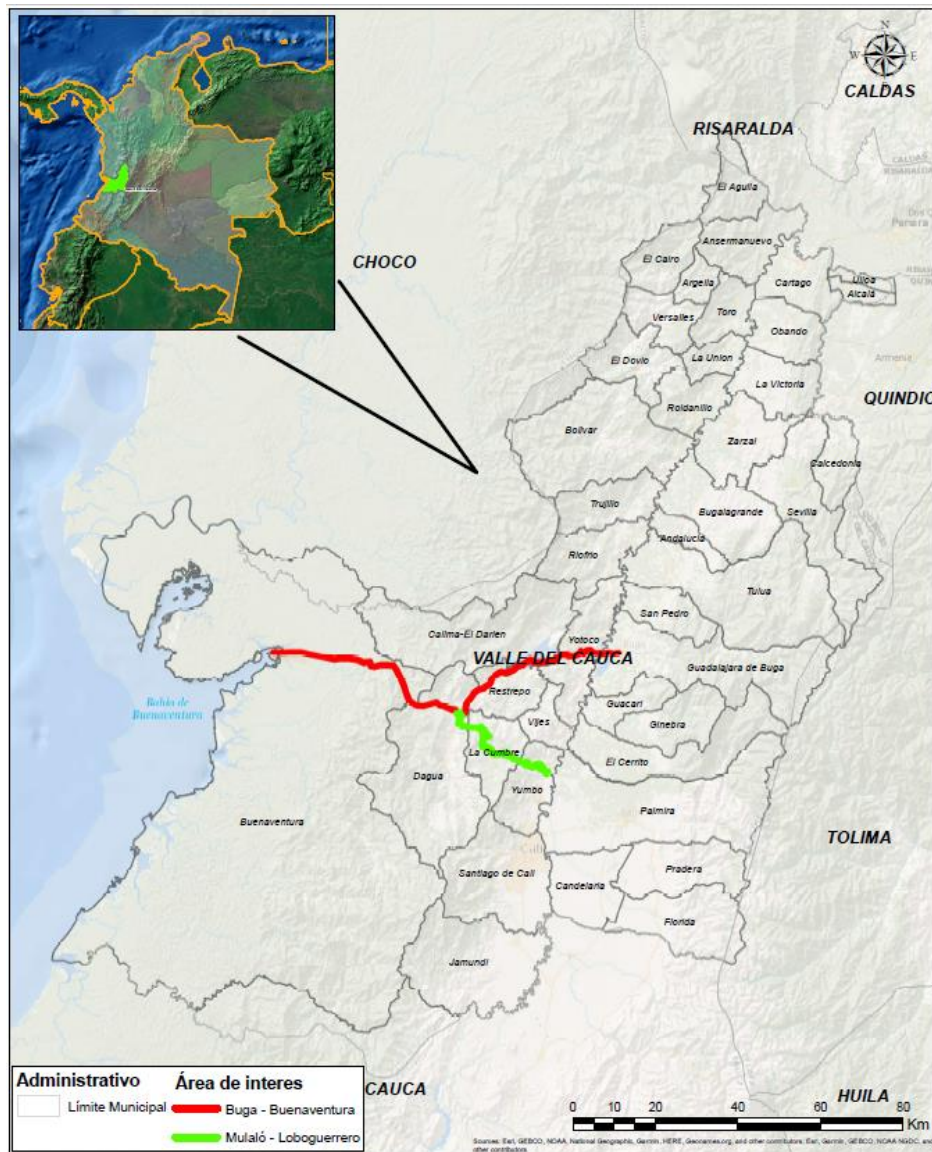
365 Se realizó una búsqueda en los expedientes de las resoluciones emitidas por autoridades  
366 ambientales (ANLA - CVC) del área propuesta a compensar por pérdida de biodiversidad o  
367 sustracción de áreas de reserva debido a la afectación generada por las carreteras 4G en el Valle  
368 del Cauca para cada proyecto. La sumatoria de estas áreas se consideró como el área adicional  
369 que sería incorporada a las áreas protegidas del Valle del Cauca, teniendo como supuesto que  
370 todas las compensaciones se traduzcan en la creación de áreas protegidas. Posteriormente, se

371 calculó el efecto de la adición de esta área en la representatividad a nivel ecosistémico y en el  
 372 área protegida de cada especie prioritaria para la conservación.

373

## 374 8. RESULTADOS

375 Para el Valle del Cauca se encontraron tres proyectos viales 4G: Buga-Buenaventura,  
 376 Mulaló-Loboguerrero e Ibagué-La Paila (Figura 1).



377

378

379

Figura 1. Ubicación de los proyectos viales 4G en el Valle del Cauca.

380 Solo el proyecto Buga-Buenaventura tiene fase de construcción y en el proceso ambiental  
 381 se han emitido seis resoluciones, las cuales discriminan que se intervienen 135,78 hectáreas y  
 382 solicitan como compensación 373,44 hectáreas (Tabla 2). Para el proyecto Mulaló-Loboguerrero  
 383 no existen resoluciones actuales, pero su plan de manejo ambiental consigna el impacto a 237,61  
 384 hectáreas y una necesidad de compensar 1.282,12 hectáreas debido a las compensaciones por  
 385 licenciamiento y sustracción de reservas (Tabla 2).

386 Tabla 2. Carreteras 4G en el Valle del Cauca, áreas afectadas y áreas de compensación.

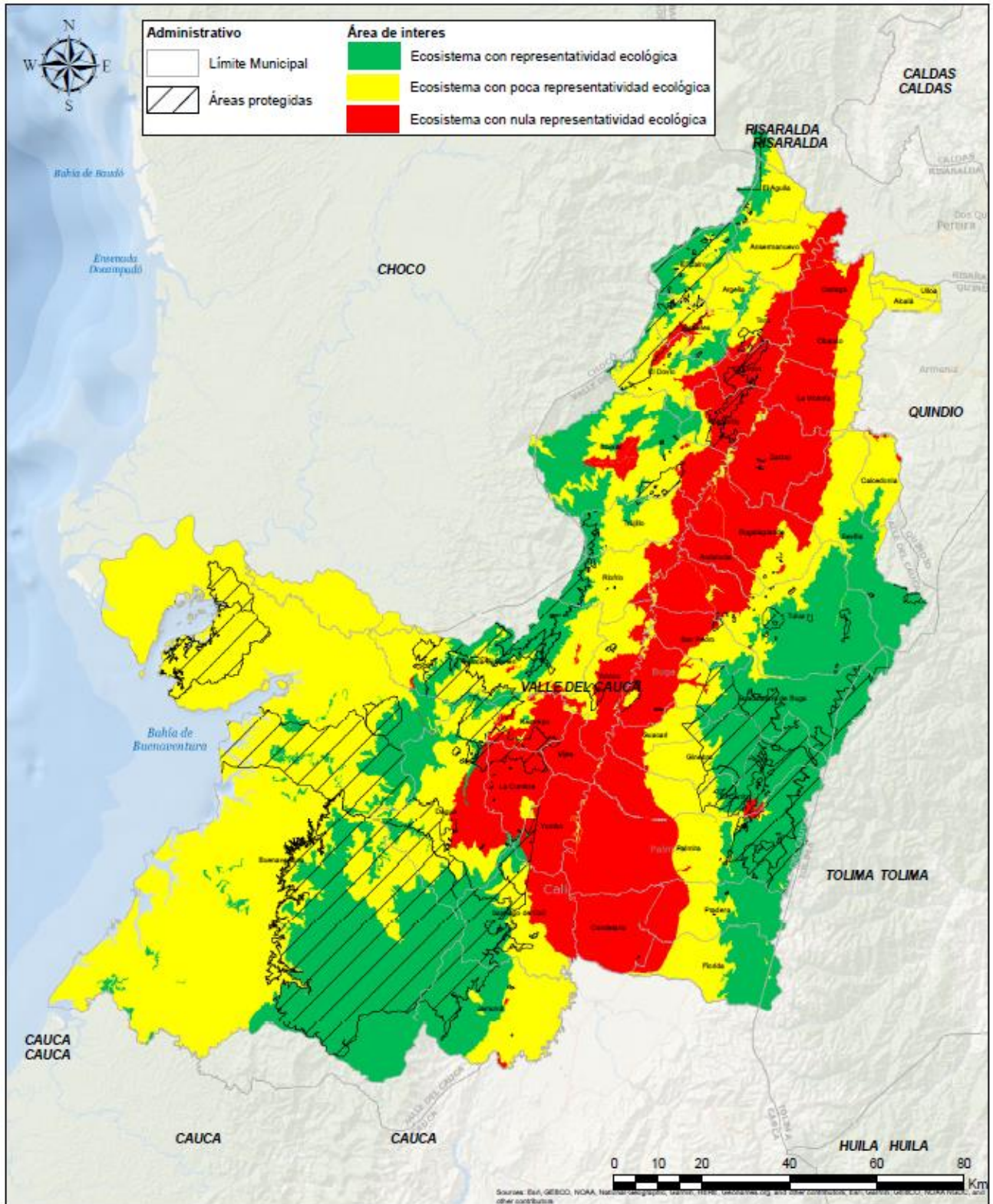
Proyecto	Resolución	Área afectada (ha)	Área para compensar (ha)
Buga-Buenaventura	Resolución 0092 de 2017	41,89	71,17
	Resolución 00998 de 2018	7,32	21,95
	Resolución 0429 de 2014	28,09	28,09
	Resolución 0488 de 2015	1,09	3,52
	Resolución 1096 de 2016	3,94	3,94
	Resolución 1436 de 2014	53,45	244,77
Mulaló-Loboguerrero	Resolución 1429 de 2021	237,61	1282,12
Ibagué-La Paila	Sin datos	Sin datos	Sin datos
<b>Total</b>		<b>373,39</b>	<b>1655,56</b>

387

### 388 8.1. Representatividad ecológica (filtro grueso)

389 El Valle del Cauca tiene una extensión terrestre de 2.081.305,05 ha y contiene 41  
 390 ecosistemas terrestres (Figura 2, Tabla 3). Según el RUNAP, en el departamento del Valle del  
 391 Cauca existen 201 áreas protegidas asociadas, para una extensión total de 505.080,27 hectáreas  
 392 protegidas. Es decir que alrededor del 26,67% de la extensión del Valle del Cauca se encuentra  
 393 en áreas protegidas. Es importante mencionar que los cálculos para esta sección presentan un  
 394 error en el intervalo de  $\pm 2-7\pm$  mm (Tremel et al., 2001), asociado a la precisión interna de las  
 395 estaciones MAGNA- SIRGAS.

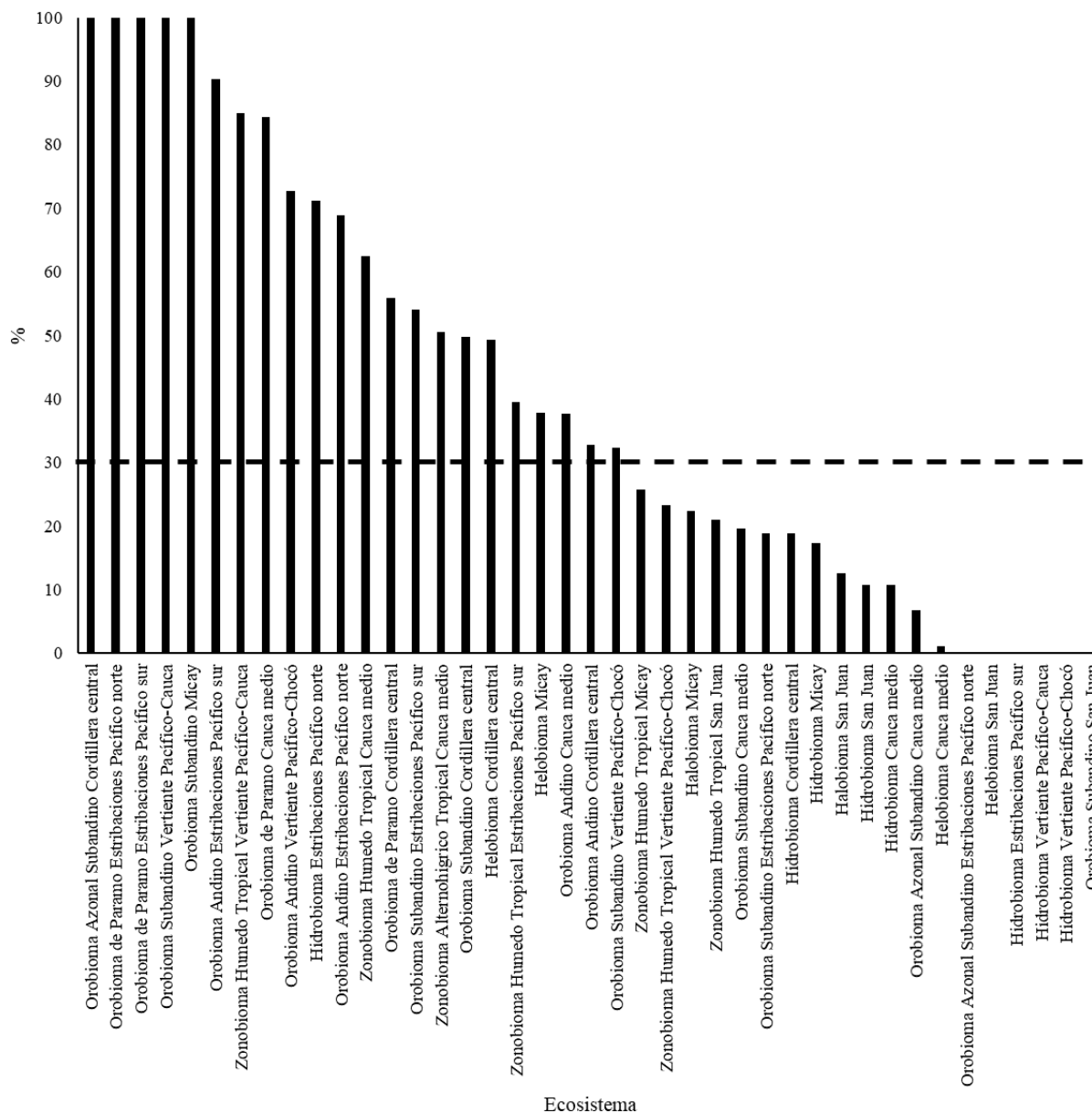
396 Del total de los ecosistemas presentes, 22 tienen una representatividad ecológica al poseer  
 397 más del 30% de su extensión en áreas protegidas (Figura 2 color verde, Tabla 3), 11 ecosistemas  
 398 tienen entre el 10% y el 30% de su distribución en áreas protegidas (Figura 2 color amarillo,  
 399 Tabla 3) e incluso ocho ecosistemas poseen menos del 10% de áreas protegidas en su distribución  
 400 (Figura 2 color rojo, Tabla 3).



401

402 Figura 2. Ecosistemas con representatividad ecológica de filtro grueso en el Valle del Cauca.

403



404

405

Figura 3. Porcentaje de representatividad de ecosistemas en el Valle del Cauca.

406

407

408

409

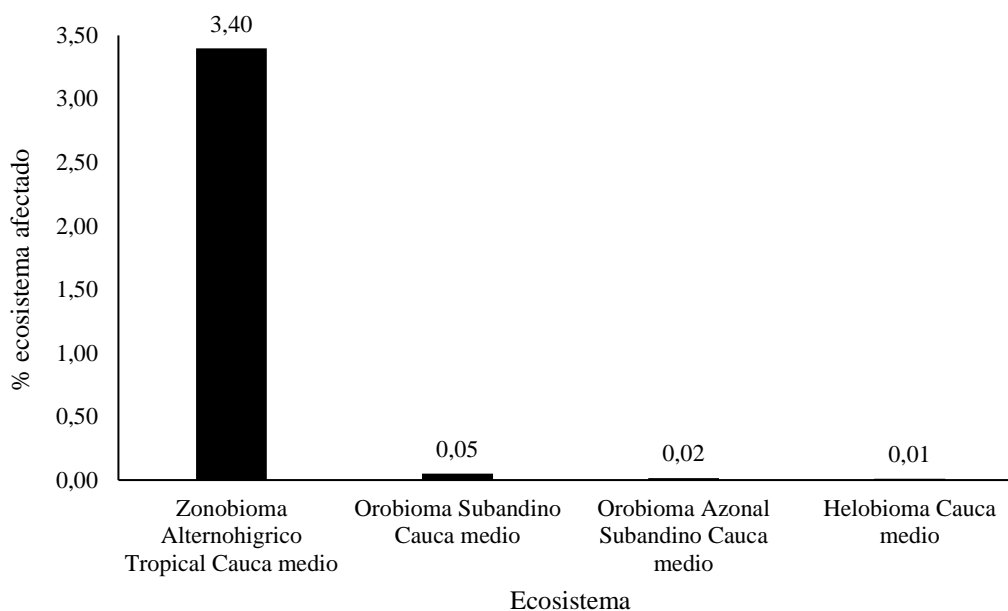
410

411

412

La construcción de carreteras 4G afecta cuatro ecosistemas en el Valle del Cauca: Zonobioma Alternohigrico Tropical Cauca medio, Orobioma Subandino Cauca medio, Orobioma Azonal Subandino Cauca medio y Helobioma Cauca medio (Tabla 3). La afectación en general es muy baja y el ecosistema más afectado es el Zonobioma Alternohigrico Tropical Cauca medio, afectado en un 3,40% de su extensión actual (Figura 4).





413

414 Figura 4. Porcentaje de ecosistemas afectados por la construcción de carreteras 4G.

415

416 **8.2. Representatividad ecológica (filtro fino)**

417 Basados en la revisión de los estudios de impacto ambiental, se registraron ocho especies  
 418 prioritarias de la conservación en las áreas afectadas por las carreteras 4G, siendo el Proyecto  
 419 Mulaló – Loboguerrero el que afectará más especies (seis). Destacamos la presencia de la especie  
 420 *Psittacara wagleri*, amenazada a nivel internacional (BirdLife International, 2016) y las especies  
 421 *Lontra longicaudis* y *Andinobates bombetes* al considerarse vulnerables a nivel nacional  
 422 (Alberico et al., 2006; Rueda-Almonacid et al., 2004). Las otras especies corresponden a especies  
 423 endémicas de Colombia (Tabla 4).

424 Para todos los modelos de distribución generados, el criterio AUC indicó que explicaban  
 425 entre el 87,3% y el 98,9% de la distribución. Para la distribución de las especies, las dos variables  
 426 principales pudieron explicar al menos el 50% de la distribución de las especies y en los mejores  
 427 modelos las variables principales explicaron el 79% de su distribución (Tabla 5), indicando que  
 428 los modelos son confiables al explicar la distribución de las especies.

Tabla 3. Ecosistemas presentes en el Valle del Cauca, porcentaje en áreas protegidas y áreas afectadas por proyectos 4G.

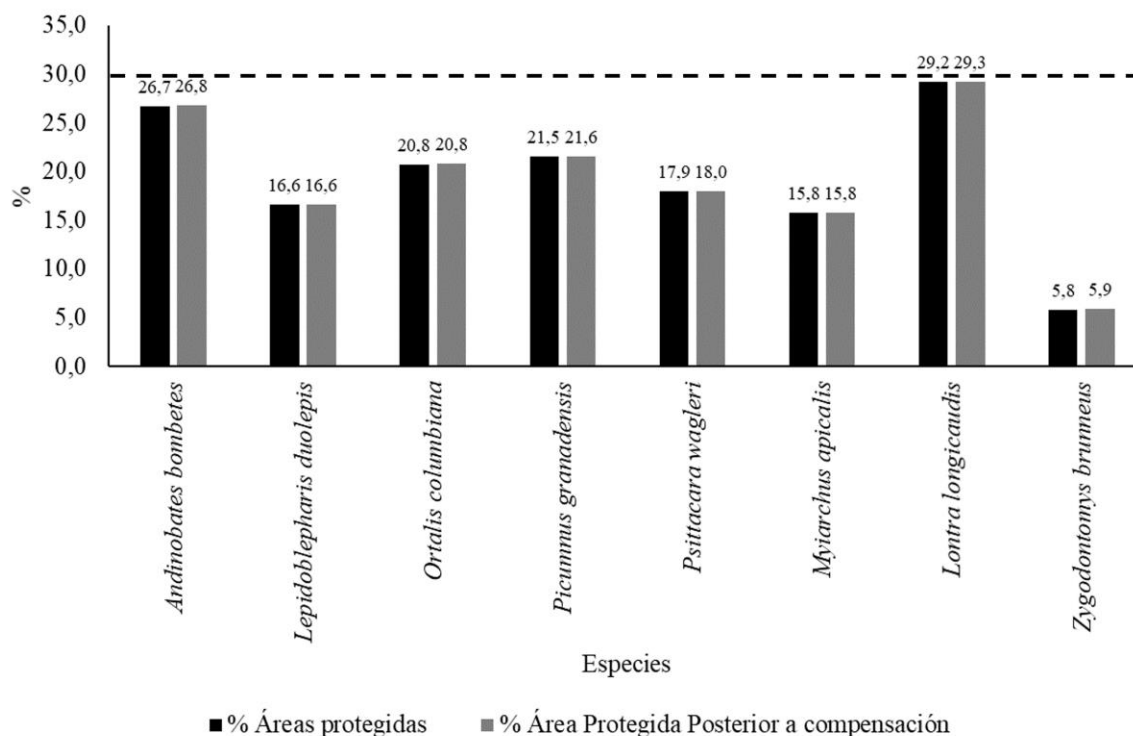
Ecosistema	Área (ha)	%	Áreas protegidas (ha)	% ecosistemas en área protegida	Área afectada (ha)	Área para compensar (ha)	% total ecosistemas en área protegida
Halobioma Micay	47.741,55	2,29	10.686,40	22,38			
Halobioma San Juan	25.775,69	1,24	3.259,84	12,65			
Helobioma Cauca medio	68.473,11	3,29	720,38	1,05	7,35	21,98	23,03
Helobioma Cordillera central	1.726,78	0,08	852,40	49,36			
Helobioma Micay	8.773,18	0,42	3.314,09	37,78			
Helobioma San Juan	7.004,34	0,34	0,00	0,00			
Hidrobioma Cauca medio	15.913,91	0,76	1.698,24	10,67			
Hidrobioma Cordillera central	389,12	0,02	73,49	18,89			
Hidrobioma Estribaciones Pacífico norte	120,48	0,01	85,71	71,15			
Hidrobioma Estribaciones Pacífico sur	44,25	0,00	0,00	0,00			
Hidrobioma Micay	9.338,94	0,45	1.617,55	17,32			
Hidrobioma San Juan	6.321,45	0,30	680,20	10,76			
Hidrobioma Vertiente Pacífico-Cauca	40,01	0,00	0,00	0,00			
Hidrobioma Vertiente Pacífico-Chocó	163,74	0,01	0,00	0,00			
Orobioma Andino Cauca medio	11.0810,63	5,32	41.757,54	37,68			
Orobioma Andino Cordillera central	12.3972,65	5,96	40.551,76	32,71			
Orobioma Andino Estribaciones Pacífico norte	23.438,58	1,13	16.134,32	68,84			
Orobioma Andino Estribaciones Pacífico sur	56.264,73	2,70	50.833,05	90,35			
Orobioma Andino Vertiente Pacífico-Chocó	1.832,79	0,09	1.332,01	72,68			
Orobioma Azonal Subandino Cauca medio	41.2684,79	19,83	27.733,13	6,72	63,95	452,84	6,83
Orobioma Azonal Subandino Cordillera central	126,69	0,01	126,69	100,00			
Orobioma Azonal Subandino Estribaciones Pacífico norte	911,20	0,04	1,07	0,12			
Orobioma de Paramo Cauca medio	2.038,59	0,10	1.718,18	84,28			
Orobioma de Paramo Cordillera central	73.851,35	3,55	41.212,70	55,80			
Orobioma de Paramo Estribaciones Pacífico norte	175,87	0,01	175,87	100,00			
Orobioma de Paramo Estribaciones Pacífico sur	4.579,81	0,22	4.579,81	100,00			
Orobioma Subandino Cauca medio	474.344,12	22,79	92.745,69	19,55	236,81	1093,40	19,78
Orobioma Subandino Cordillera central	1.917,84	0,09	953,13	49,70			
Orobioma Subandino Estribaciones Pacífico norte	38.005,00	1,83	7.192,03	18,92			

<b>Ecosistema</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Áreas protegidas (ha)</b>	<b>% ecosistemas en área protegida</b>	<b>Área afectada (ha)</b>	<b>Área para compensar (ha)</b>	<b>% total ecosistemas en área protegida</b>
Orobioma Subandino Estribaciones Pacífico sur	68.707,70	3,30	37.089,13	53,98			
Orobioma Subandino Micay	9.139,37	0,44	9.136,63	99,97			
Orobioma Subandino San Juan	218,95	0,01	0,00	0,00			
Orobioma Subandino Vertiente Pacífico-Cauca	23.689,77	1,14	23.689,77	100,00			
Orobioma Subandino Vertiente Pacífico-Chocó	31.410,69	1,51	10.128,79	32,25			
Zonobioma Alternohigrico Tropical Cauca medio	1.921,15	0,09	970,68	50,53	65,28	87,33	55,07
Zonobioma Húmedo Tropical Cauca medio	7.040,32	0,34	4.394,50	62,42			
Zonobioma Húmedo Tropical Estribaciones Pacífico sur	9.149,23	0,44	3.607,59	39,43			
Zonobioma Húmedo Tropical Micay	214.587,65	10,31	55.178,28	25,71			
Zonobioma Húmedo Tropical San Juan	154.919,46	7,44	32.558,54	21,02			
Zonobioma Húmedo Tropical Vertiente Pacífico-Cauca	29.357,37	1,41	24.952,07	84,99			
Zonobioma Húmedo Tropical Vertiente Pacífico-Chocó	14.382,20	0,69	3.339,01	23,22			
<b>Total, general</b>	<b>2.081.305,05</b>	<b>100,00</b>	<b>555.080,27</b>	<b>26,67</b>	<b>373,39</b>	<b>1655,55</b>	<b>26,75</b>

431 Tabla 4. Especies prioritarias para la conservación detectadas en el área de afectación de las  
 432 carreteras 4G en el Valle del Cauca.

Especies	Categoría	Proyecto
<i>Ortalis columbiana</i>	Endémica	Construcción de la Segunda Calzada Tramo Loboguerrero - Mediacanoa, Proyecto Mulaló - Loboguerrero
<i>Andinobates bombetes</i>	Resolución 1912 de 2017 (Vulnerable)	Construcción de la Segunda Calzada Tramo Loboguerrero - Mediacanoa
<i>Myiarchus apicalis</i>	Endémica	Proyecto Mulaló - Loboguerrero
<i>Picumnus granadensis</i>	Endémica	Proyecto Mulaló - Loboguerrero
<i>Zygodontomys brunneus</i>	Endémica	Proyecto Mulaló - Loboguerrero
<i>Lontra longicaudis</i>	Resolución 1912 de 2017 (Vulnerable)	Proyecto Mulaló - Loboguerrero
<i>Lepidoblepharis duolepis</i>	Endémica	Proyecto Mulaló - Loboguerrero
<i>Psittacara wagleri</i>	Casi amenazada UICN	Proyecto Mulaló - Loboguerrero

433



434

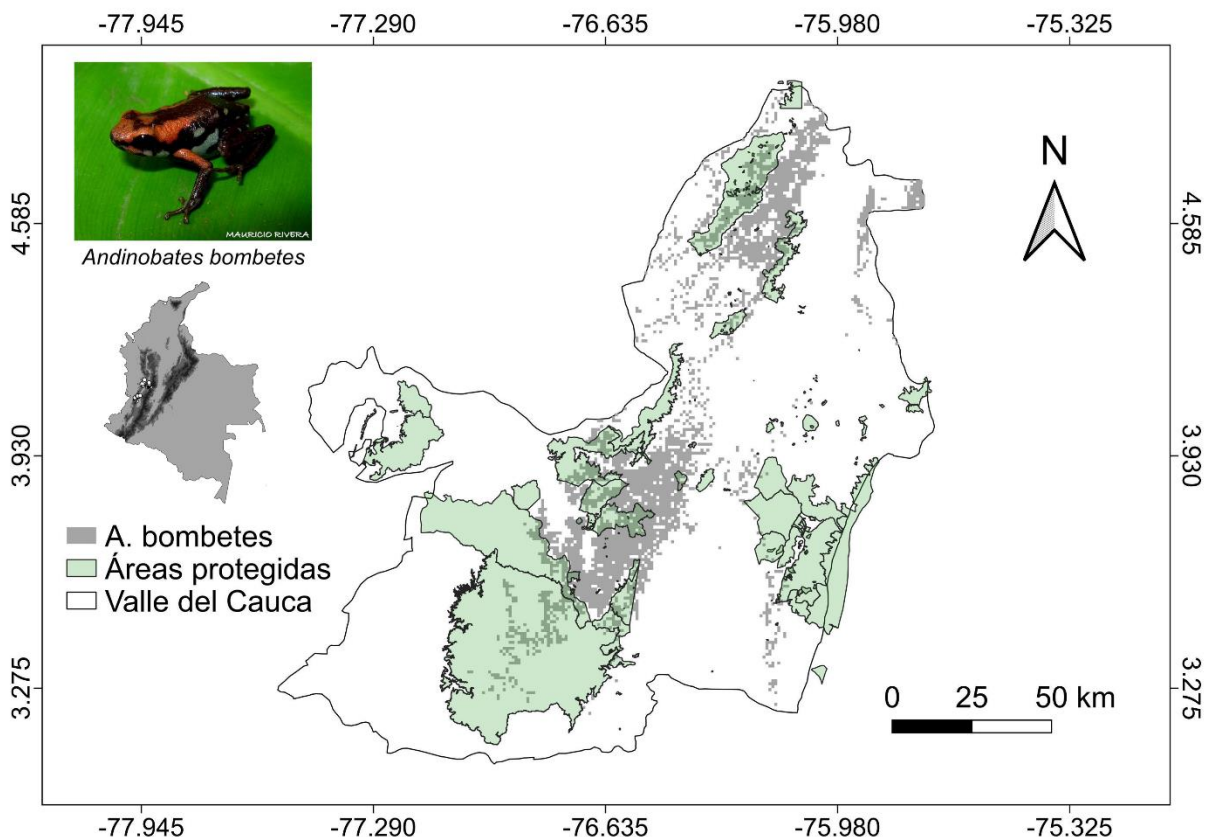
435 Figura 5. Porcentaje de representatividad de especies prioritarias para la conservación en  
 436 el Valle del Cauca.

437

438 Tabla 5. Resultados de modelos de distribución potencial para las especies prioritarias para la conservación detectadas en las carreteras  
 439 4G en el Valle del Cauca.

<i>Especie</i>	VARIABLES PRINCIPALES	AUC	Contribución variables principales (%)	Distribución en el departamento (ha)	Distribución en áreas protegidas (ha)	Áreas protegidas (%)	Área Protegida Posterior a compensación (%)
<i>Andinobates bombetes</i>	Mean Temperature of Warmest Quarter, Isothermality (BIO2/BIO7)	0,989	79,00	2.781.150,91	74.174,10	26,67	26,80
<i>Lepidoblepharis duolepis</i>	Isothermality (BIO2/BIO7) (×100), Precipitation of Wettest Quarter	0,967	74,30	981.707,60	162.741,70	16,58	16,62
<i>Ortalis columbiana</i>	Temperature Seasonality (standard deviation ×100, Mean Temperature of Driest Quarter	0,873	69,70	1.381.490,16	286.676,40	20,75	20,78
<i>Picumnus granadensis</i>	Isothermality (BIO2/BIO7) (×100), Mean Temperature of Coldest	0,950	77,70	1.407.715,36	303.156,12	21,54	21,56
<i>Psittacara wagleri</i>	Mean Temperature of Driest Quarter, Temperature Seasonality (standard deviation)	0,893	78,70	1.110.282,00	199.160,90	17,94	17,97
<i>Myiarchus apicalis</i>	Isothermality (BIO2/BIO7) (×100), Annual Precipitation	0,934	62,60	1.080.419,79	170.378,60	15,77	15,80
<i>Lontra longicaudis</i>	Temperature Seasonality (standard deviation ×100), Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	0,874	50,90	529.680,19	154.565,28	29,18	29,25
<i>Zygodontomys brunneus</i>	Isothermality (BIO2/BIO7) (×100), Temperature Seasonality (standard deviation)	0,911	73,70	579.437,63	33.673,80	5,81	5,88

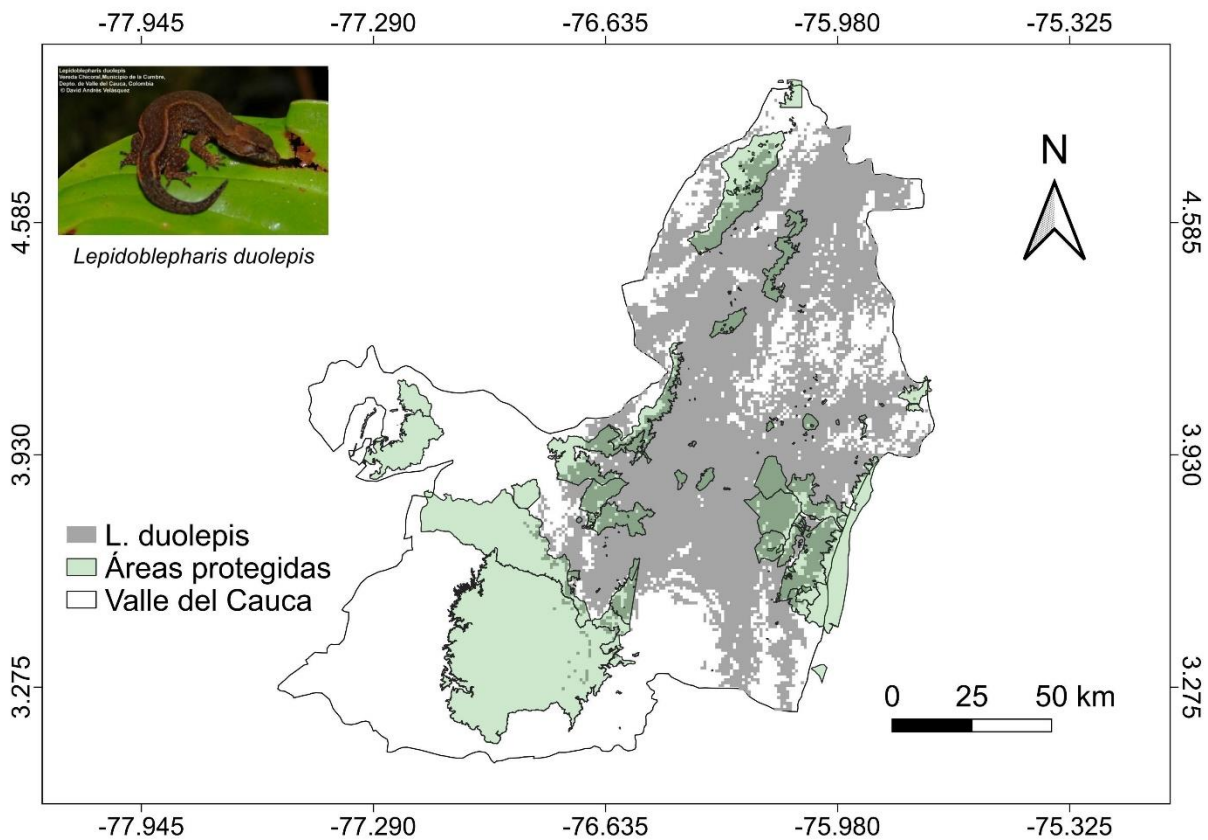
441 La ranita venenosa del Valle del Cauca presentó una distribución en 278.150,91 hectáreas.  
 442 El modelo obtenido de distribución potencial presentó un ajuste adecuado con un valor de AUC=  
 443 0,989. Esta rana se encuentra distribuida en los bosques subandinos en ambas vertientes de la  
 444 Cordillera Occidental y en la vertiente de la Cordillera Central (Figura 6). De su distribución,  
 445 74.174,10 hectáreas (26,67%), se encuentran dentro de áreas protegidas (Tabla 5, Figura 5), lo  
 446 cual significa que no existe representatividad ecológica para esta especie.



447  
 448 Figura 6. Mapa de distribución potencial de *Andinobates bombetes*.

449  
 450 El gecko *Lepidoblepharis duolepis* presentó una distribución en 981.707,60 ha. El modelo  
 451 obtenido de distribución potencial presentó un ajuste adecuado con un valor de AUC= 0,967.  
 452 Esta especie habita en el valle interandino del Valle del Cauca y en ambas cordilleras del Valle  
 453 del Cauca, hasta los 2.150 msnm (Figura 7). De su área de distribución, 163.115,09 hectáreas  
 454 (16,58%) están dentro de áreas protegidas (Tabla 5, Figura 5), por lo tanto, no existe  
 455 representatividad ecológica para esta especie.

456



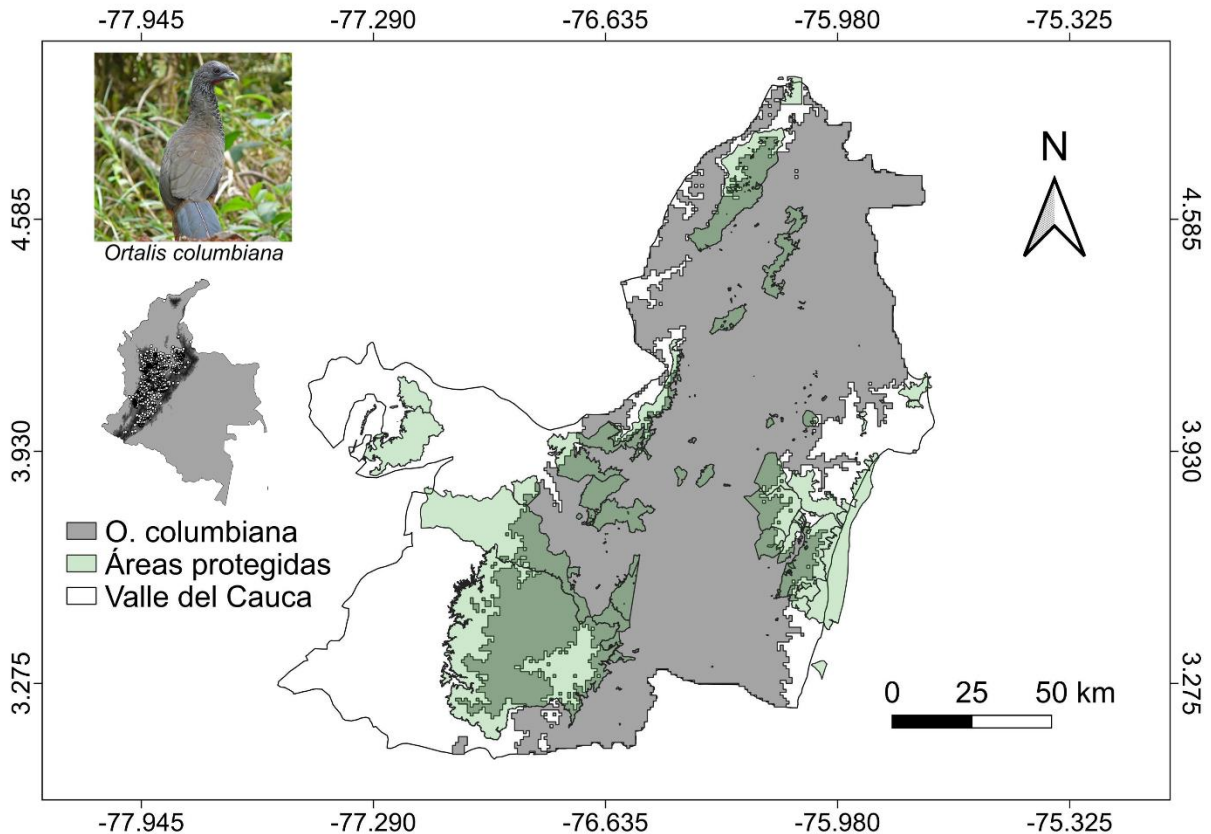
457

458

Figura 7. Mapa de distribución potencial de *Lepidoblepharis duolepis*.

459

460 La Guachara colombiana (*Ortalis columbiana*) presentó una distribución en 1.381.490,16  
 461 ha. El modelo obtenido de distribución potencial presentó un ajuste adecuado con valor de AUC  
 462 =0,873. Esta especie habita en el valle interandino del Valle del Cauca, en la vertiente oriental de  
 463 la Cordillera Occidental y la vertiente occidental de la Cordillera Central (Figura 8). De su área  
 464 de distribución, 287.049,79 hectáreas (20,75%), están dentro de áreas protegidas, es decir que no  
 465 existe una representatividad ecológica para esta especie (Tabla 5, Figura 5).



466

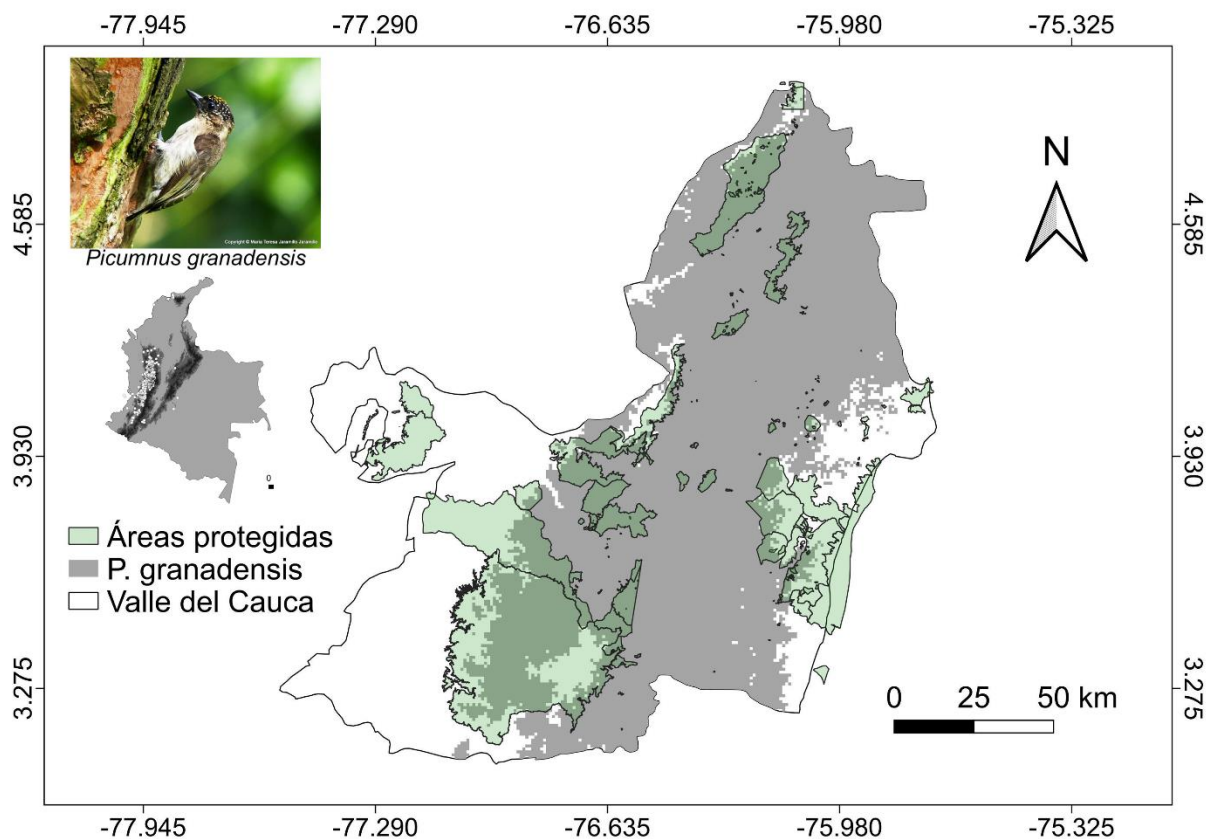
467

Figura 8. Mapa de distribución potencial de *Ortalis columbiana*.

468

469 El carpinterito colombiano (*Picumnus granadensis*) se distribuye en 1.407.715,36  
 470 hectáreas del departamento. El modelo obtenido de distribución potencial presentó un ajuste  
 471 adecuado con valor de AUC =0,950. Esta especie habita en el valle interandino del Valle del  
 472 Cauca y en las zonas bajas de la vertiente oriental de la cordillera y la vertiente occidental de la  
 473 cordillera central (Figura 9). De su distribución, 303.529,51 hectáreas (21,54%), están dentro de  
 474 áreas protegidas (Tabla 5), lo que indica que no existe una representatividad ecológica para la  
 475 especie.





476

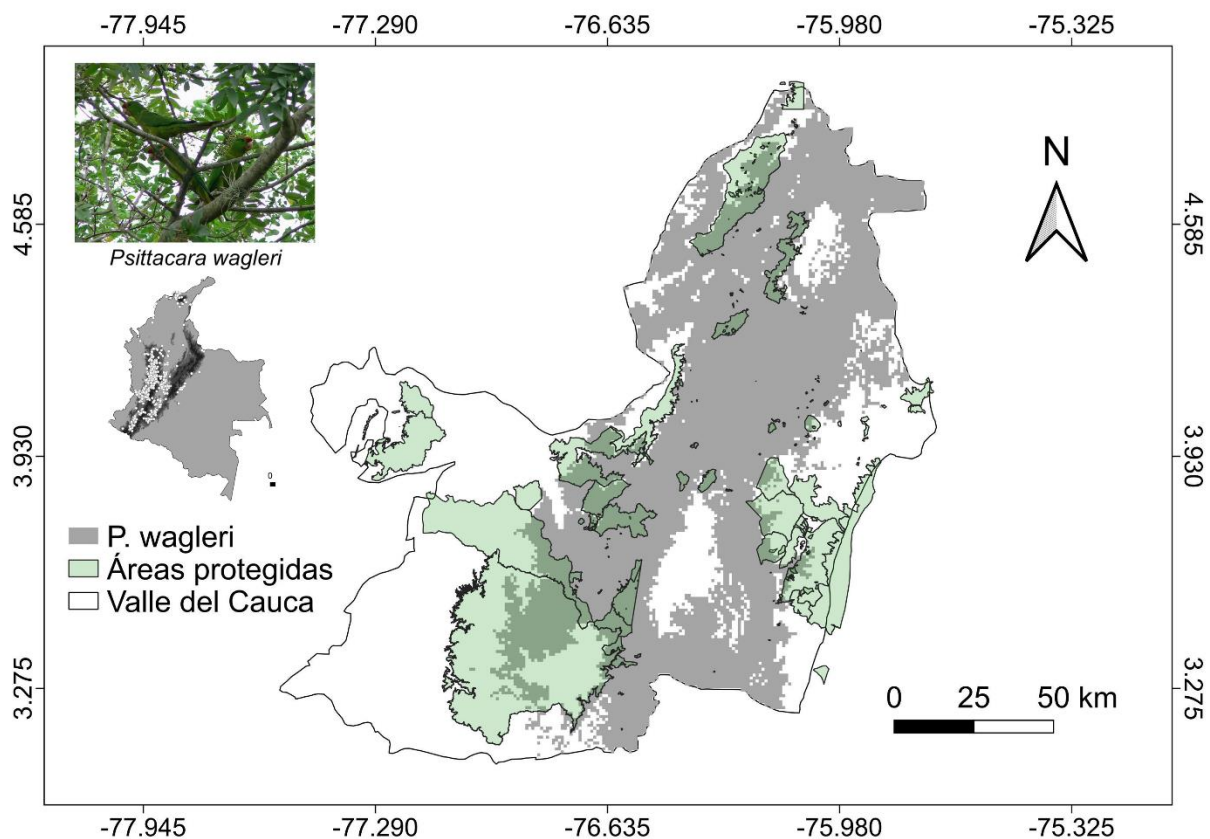
477

Figura 9. Mapa de distribución potencial de *Picumnus granadensis*.

478

479 El Perico chocolero (*Psittacara wagleri*) en el departamento del Valle del Cauca está  
 480 presente en 1.110.282,0 hectáreas. El modelo obtenido de distribución potencial presentó un  
 481 ajuste adecuado con valor de AUC =0,893. Esta especie se encuentra distribuida en el valle  
 482 interandino del Valle del Cauca y en ambas cordilleras, estando ausente en la llanura pacifica del  
 483 Valle del Cauca y en las partes altas de la cordillera central (Figura 10). De su distribución,  
 484 199.534,29 hectáreas (17,94%) están dentro de áreas protegidas, es decir que no existe una  
 485 representatividad ecológica para esta especie (Tabla 5).

486



487

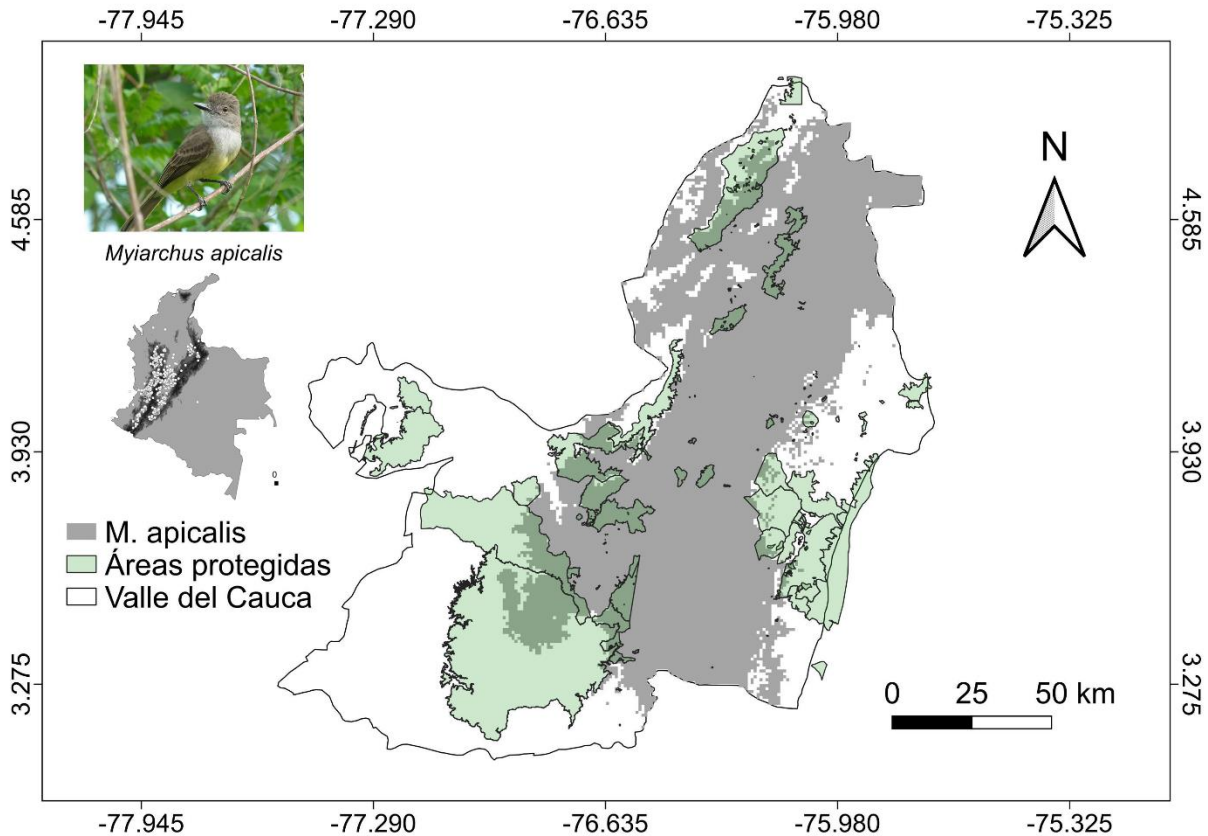
488

Figura 10. Mapa de distribución potencial de *Psittacara wagleri*.

489

490 El Copetón apical (*Myiarchus apicalis*) está distribuido en 1.080.419,79 hectáreas del  
 491 departamento del Valle del Cauca. El modelo obtenido de distribución potencial presentó un  
 492 ajuste adecuado con valor de  $AUC = 0,934$ . Esta especie habita en el valle internandino del Valle  
 493 del Cauca y en las zonas bajas de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y la vertiente  
 494 occidental de la Cordillera Central (Figura 11). De su distribución, 170.751,99 hectáreas  
 495 (15,77%) corresponden a áreas protegidas, lo cual significa que no existe representatividad  
 496 ecológica para esta especie (Tabla 5).

497



498

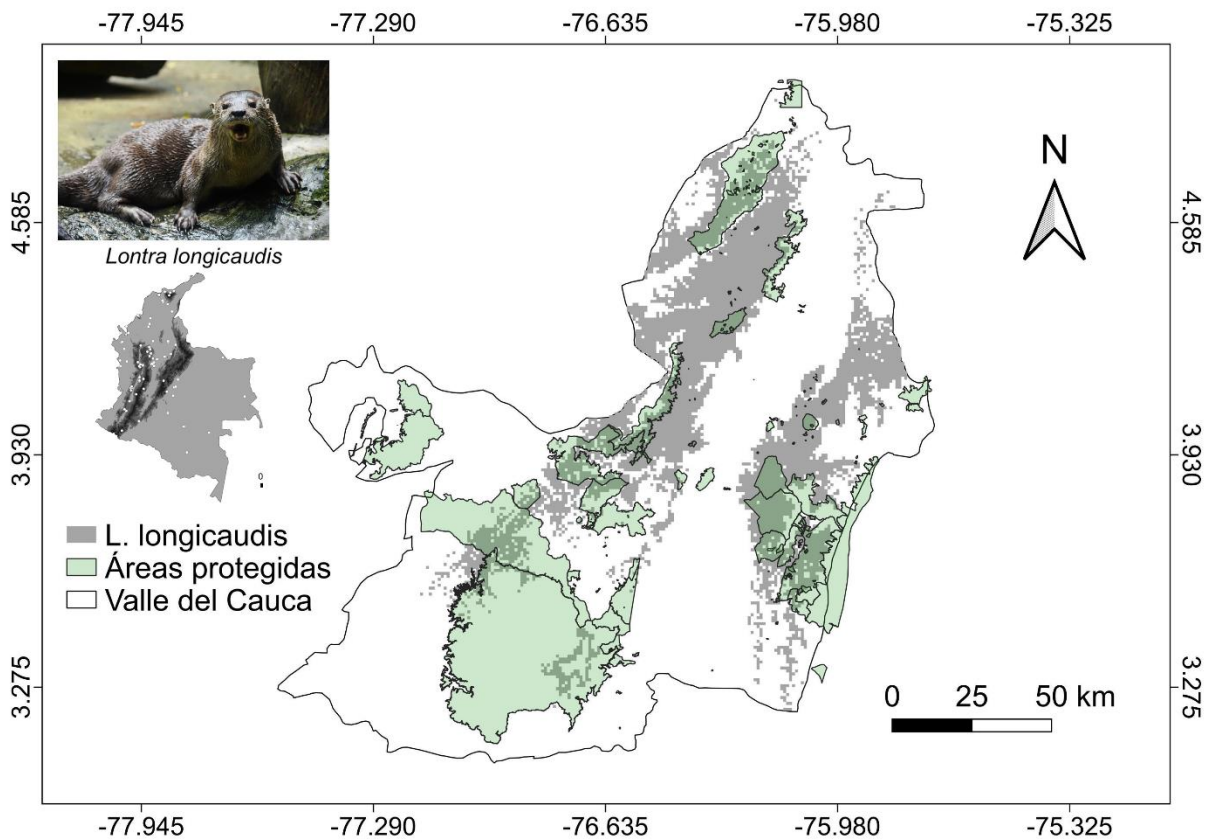
499

Figura 11. Mapa de distribución potencial de *Myiarchus apicalis*.

500

501 La nutria de río (*Lontra longicaudis*) se distribuye en 529.680,19 hectáreas del  
 502 departamento del Valle del Cauca. El modelo obtenido de distribución potencial presentó un  
 503 ajuste adecuado con valor de  $AUC = 0,874$ . Esta especie habita discontinuamente en ambas  
 504 cordilleras, estando concentrada en el norte de la Cordillera Central (Figura 12). De su  
 505 distribución, 154.938,67 hectáreas (29,18%), se encuentran dentro de áreas protegidas, por lo  
 506 tanto, no existe representatividad ecológica para esta especie (Tabla 5).

507



508

509

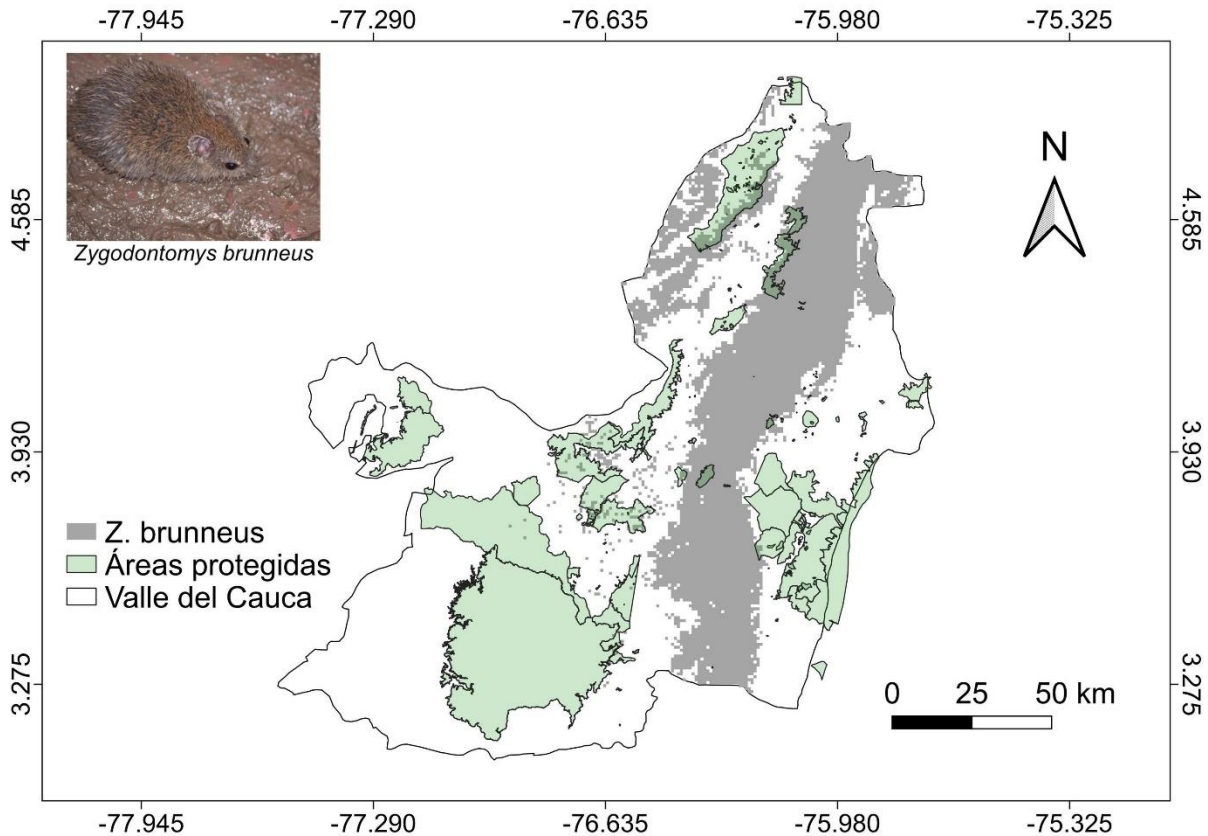
Figura 12. Mapa de distribución potencial de *Lontra longicaudis*.

510

511 El ratón (*Zygodontomys brunneus*) se distribuye en 579.437,63 hectáreas en el  
 512 departamento del Valle del Cauca. El modelo obtenido de distribución potencial presentó un  
 513 ajuste adecuado con valor de  $AUC = 0,911$ . Esta especie habita en las elevaciones bajas del valle  
 514 geográfico del río Cauca y en elevaciones medias de la vertiente occidental de la cordillera  
 515 occidental, sin alcanzar a la llanura del pacífico (Figura 13). De su distribución, 34.047,19  
 516 hectáreas (5,81%) están dentro de áreas protegidas (Tabla 5), lo cual significa que está muy lejos  
 517 de alcanzar la representatividad ecológica.

518

519



520

521

Figura 13. Mapa de distribución potencial de *Zygodontomys brunneus*.

522

523

### 8.3. Compensaciones por pérdida de diversidad

524 Al analizar las diferentes resoluciones para los proyectos 4G en el Valle del Cauca, se

525 encontró que tienen un área de intervención total de 373,39 ha, en cuatro ecosistemas diferentes,

526 siendo el más afectado el ecosistema Orobioma Subandino Cauca Medio (Figura 14). Esta

527 afectación implica la compensación de 1.655,55 hectáreas. Una de las maneras para realizar

528 compensaciones por pérdida de biodiversidad es la creación de nuevas áreas protegidas.

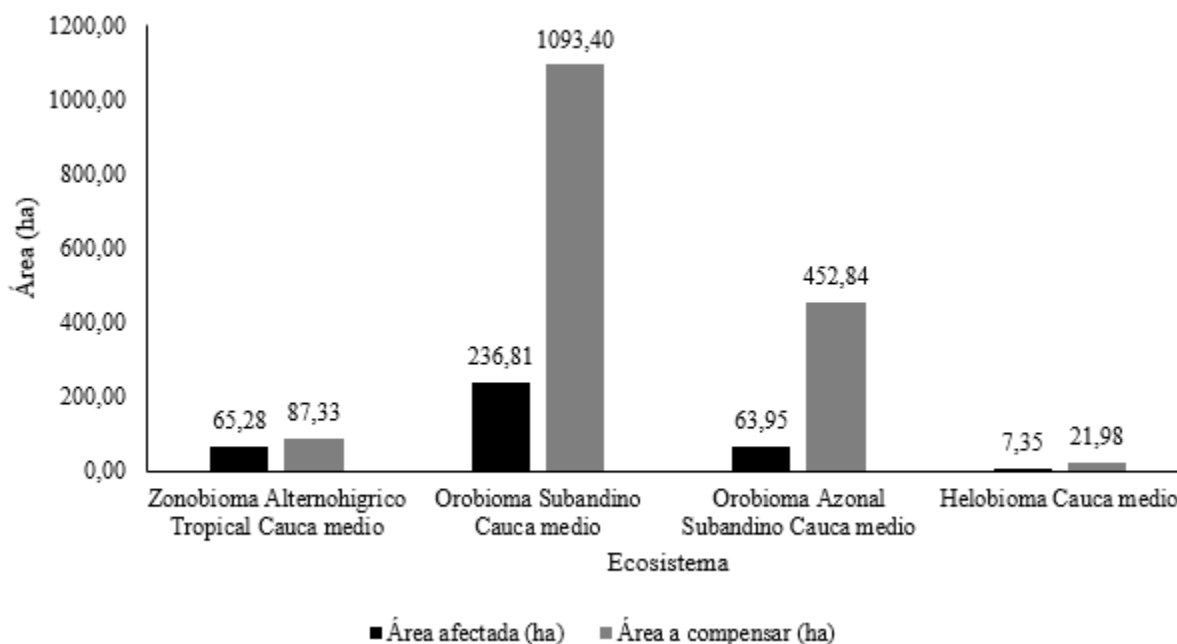
529 Suponiendo que todas las obligaciones de compensación de estos proyectos se tradujeran en

530 nuevas áreas protegidas, estas áreas aumentarían en el departamento en 1.655,55 ha distribuidas

531 en cuatro ecosistemas, siguiendo el principio de que las compensaciones deben realizarse en el

532 mismo ecosistema impactado. Debido a esto, el ecosistema más beneficiado sería el ecosistema

533 Orobioma Subandino Cauca Medio, al incrementarse 1.093,4 hectáreas de áreas protegidas en su  
534 distribución.



535

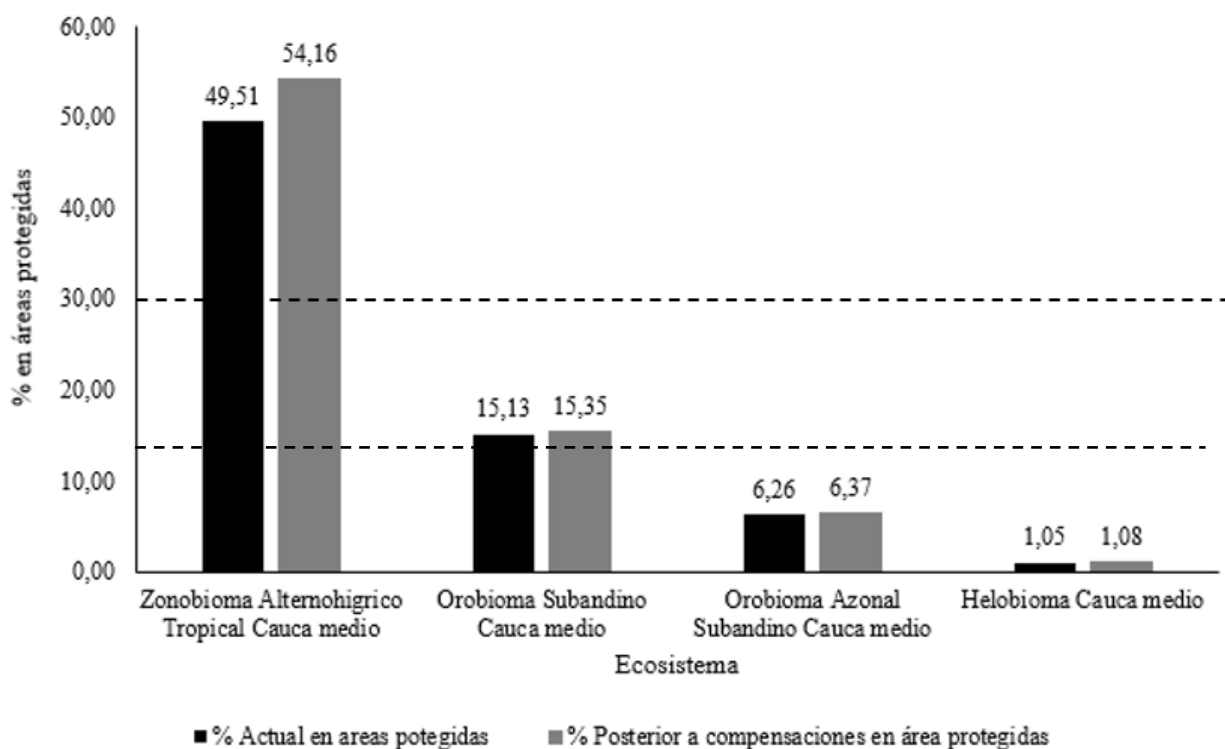
536 Figura 14. Área afectada y Área a compensar por la construcción de carreteras 4G.

537 *Fuente de información: Proyectos de carreteras 4G en el Valle del Cauca.*

538

539 Al analizar el efecto del establecimiento de estas áreas protegidas, todos los ecosistemas  
540 aumentarían su representatividad a nivel de filtro grueso. Por ejemplo, para el ecosistema más  
541 afectado, el Orobioma Subandino Cauca Medio, su representatividad en áreas protegidas pasaría  
542 del 15,13% al 15,35% (Figura 14). Sin embargo, el aumento en las áreas protegidas no es  
543 significativo o considerable para considerar que alguno de ellos alcance la representatividad  
544 ecológica de a nivel de filtro grueso a causa de las compensaciones. El ecosistema de Zonobioma  
545 Alternohigrico Tropical Cauca Medio ya posee una representatividad ecológica, teniendo el  
546 49,51% de su extensión en áreas protegidas, por lo que simplemente se aumenta el porcentaje en  
547 áreas protegidas al 54,16 (Figura 14), pero los otros tres ecosistemas actualmente no poseen una  
548 representatividad ecológica y la creación de nuevas áreas protegidas, vía efecto de  
549 compensaciones, no cambiarían su panorama.

550



551 ■ % Actual en áreas protegidas ■ % Posterior a compensaciones en área protegidas  
 552 Figura 15. Variación del porcentaje de áreas protegidas para los ecosistemas afectados por las  
 553 carreteras 4G.

554

## 555 9. DISCUSIÓN

556 Los proyectos de construcción de carreteras 4G en el Valle del Cauca intervienen 373,39  
 557 ha en cuatro ecosistemas y afectan áreas de distribución de ocho especies consideradas  
 558 importantes para la conservación en este departamento. Como el área terrestre del departamento  
 559 del Valle del Cauca es de 2.081.305,05 ha, desde el punto de vista de la representatividad las  
 560 afectaciones por estos proyectos únicamente impactarían el 0,02% del área del departamento, por  
 561 lo que se podría considerar que los efectos de las carreteras 4G sobre la representatividad  
 562 ecológica en el Valle del Cauca son mínimos a nivel de filtro grueso o fino. Como corolario, de la  
 563 afectación mínima en área, las compensaciones también son pequeñas y no tienen un efecto sobre  
 564 el aumento de la representatividad de ecosistemas o especies prioritarias para la conservación en  
 565 el departamento. Esta evaluación, desde luego, sólo aplica para el concepto de la  
 566 representatividad de áreas, que es el interés de la evaluación de esta investigación, ya que estos  
 567 proyectos generan afectaciones funcionales en los ecosistemas al alterar las coberturas naturales,

568 modificar los hábitats de la fauna silvestre, alterar la conectividad ecosistémica y aumentar los  
569 atropellamientos de la fauna silvestre (e.g. Crooks et al., 2017; Madadi et al., 2017; Pinto et al.,  
570 2018; Jaeger & Torres, 2021). Sin embargo, un análisis que incorpore todo los tipos de proyectos  
571 que generen intervención y a los cuales se les aplique la metodología del manual de  
572 compensaciones puede develar la perdida de representatividad de algunos ecosistemas (e.g.  
573 hidrocarburos, minería, sector eléctrico, sector portuario, aeropuertos), en especial aquellos que  
574 tienen una pequeña extensión y que se distribuyen en las zonas con mayor desarrollo de  
575 proyectos, en este caso el valle geográfico del río Cauca y en la zona andina de la cordillera  
576 occidental (Banca de Desarrollo Territorial, F. 2021).

577 Pese a la poca relevancia de los impactos en extensión superficial generados por los  
578 proyectos de construcción de carreteras 4G en el Valle del Cauca, los resultados de esta  
579 investigación resaltan varios patrones emergentes de la representatividad ecológica a nivel  
580 ecosistémico. El primer patrón muestra que en el departamento del Valle del Cauca solo se  
581 encuentra protegido el 26,67% de su extensión, por lo tanto, no se alcanza el valor sugerido de un  
582 30% de extensión en áreas protegidas (Groves, 2003). Por lo tanto, las políticas departamentales  
583 de conservación deberían apuntar al incremento en el porcentaje de áreas protegidas. Esta  
584 acción es necesaria ya que las áreas protegidas se reconocen como la estrategia más importante  
585 para la conservación de la vida silvestre *in situ* (Gaston et al., 2008; de Souza & Prevedello,  
586 2020; Andrade-Díaz et al., 2021; Jonas et al., 2021). Si bien las Convenciones Biológicas de  
587 Biodiversidad plantean como objetivo que el 10% de cada región ecológica del mundo se  
588 encuentre dentro de áreas protegidas (Secretariat of the Convention on Biological Diversity,  
589 2004) y que países con un fuerte sistema de áreas protegidas como Costa Rica solo cuentan con  
590 un 26% de su área en zonas protegidas (González-Maya et al., 2015); si se utilizan criterios más  
591 estrictos (30%) que aseguren la protección de la identidad genética y estructural de poblaciones y  
592 ecosistemas (Noss, 1990; Scott et al., 2001, Dinerstein et al., 2019; Waldron et al., 2020), el  
593 departamento del Valle del Cauca tendría un faltante de áreas protegidas terrestres.

594 El segundo patrón establecido es el de vacíos de áreas protegidas en muchos de los  
595 ecosistemas del Valle del Cauca, al solo tener representatividad ecológica 22 de los 41  
596 ecosistemas existentes en el departamento, con al menos seis ecosistemas sin áreas protegidas en  
597 su extensión. La representatividad de filtro grueso tiene como objetivo asegurar la protección y



598 conservación de la totalidad de los ecosistemas naturales (Haufler et al., 1999; Hazen &  
599 Anthamatten 2004; Trisurat 2007; Tingley et al., 2014), por lo tanto, la inexistencia de áreas  
600 protegidas en muchos ecosistemas pone en riesgo una gran parte de la biodiversidad, sobre todo  
601 de especies con requerimientos específicos (Powell et al., 2000; Visconti et al., 2019 Dietz et al.,  
602 2020). La distribución de áreas protegidas en el Valle del Cauca muestra la poca  
603 representatividad de áreas protegidas en los ecosistemas que se ubican en el Valle interandino del  
604 río Cauca, en los cuales no se alcanza ni siquiera una representatividad del 10% (Figura 2). Este  
605 valle representa zonas de vida de bosque seco tropical muy amenazadas en Colombia y en el  
606 mundo, debido a su orientación netamente agropecuaria (Suazo-Ortuno et al., 2008; Garcés-  
607 Restrepo et al, 2006). De igual manera, existe una falta de áreas protegidas en los ecosistemas  
608 ubicados en la llanura del Pacífico (Figura 2), esta zona es de especial interés para la  
609 conservación debido a que hace parte de la zona biogeográfica del Choco-Darién, que es uno de  
610 los puntos calientes de biodiversidad del mundo con alto número de especies endémicas (Rangel  
611 & Arellano 2004, Myers et al. 2006). Por lo tanto, es recomendable establecer reservas en estas  
612 regiones para tener una representatividad de filtro grueso y por ende una protección de la  
613 biodiversidad existente en el Valle del Cauca.

614 La reglamentación actual de la implementación de las compensaciones obliga a que estas  
615 se hagan en el mismo ecosistema intervenido (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible  
616 2018). Aunque esta reglamentación se establece con el fin de que se compense en áreas con una  
617 biodiversidad similar (Koh et al., 2017; May et al, 2017), se pueden crear excepciones que  
618 permitan desarrollar estrategias regionales de conservación. Algunas estrategias actuales como la  
619 eco-compensación tienen una mayor flexibilidad y permiten que las compensaciones se focalicen  
620 de forma económica en el cumplimiento de objetivos nacionales de conservación, con lo cual se  
621 podrá asegurar una conservación integral de la biodiversidad a una escala más amplia (Yu et al.,  
622 2021). Esta flexibilidad podría permitir que ecosistemas que no son impactados por obras de  
623 infraestructura, pero que tengan baja representatividad puedan contar con recursos para aumentar  
624 sus sistemas de áreas protegidas y por ende proteger la diversidad ecosistémica y viabilizar  
625 poblaciones de especies importantes para la conservación, teniendo un efecto regional o nacional  
626 en la conservación de la biodiversidad. Específicamente, se plantea que el manual de  
627 compensaciones del medio biótico podría flexibilizar el “dónde” compensar, generando una  
628 excepción de compensación en sitios fuera del área de equivalencia ecológica, siempre y cuando

629 se cumpla que los ecosistemas intervenidos cuenten con una representatividad ecológica robusta,  
630 que estas áreas excepcionadas se establezcan en ecosistemas con baja representatividad, y que la  
631 compensación implemente el modo de compra de predios que conduzcan a la creación de nuevas  
632 áreas protegidas. Por ejemplo, para el análisis actual, si las 373,39 hectáreas de compensación  
633 fueran utilizadas para crear áreas protegidas en ecosistemas con una distribución menor a 12.411  
634 hectáreas, se podría alcanzar al menos el 30% de la extensión de nueve biomas adicionales  
635 (Hidrobioma Vertiente Pacífico-Cauca, Hidrobioma Estribaciones Pacífico sur, Hidrobioma  
636 Estribaciones Pacífico norte, Orobioma Azonal Subandino Cordillera central, Hidrobioma  
637 Vertiente Pacífico-Chocó, Orobioma de Paramo Estribaciones Pacífico norte, Orobioma  
638 Subandino San Juan, Hidrobioma Cordillera central, Orobioma Azonal Subandino Estribaciones  
639 Pacífico norte, ver Tabla 3) y así asegurar la representatividad ecológica para ellos, sin que se  
640 altere sustancialmente la representatividad de los ecosistemas intervenidos , ver Tabla 3). Por otra  
641 parte, también se podrían incorporar modificaciones al manual para posibilitar que las  
642 compensaciones se hagan en áreas donde se encuentren especies muy amenazadas que hayan sido  
643 detectadas en los estudios de impacto ambiental. Esta táctica permitiría fusionar las estrategias de  
644 filtro fino y filtro grueso para asegurar la conservación de un gran porcentaje de la biodiversidad  
645 a nivel regional, llenando los vacíos de áreas protegidas en algunos ecosistemas.

646 A nivel de filtro fino, ninguna de las especies registradas en el Valle del Cauca tiene  
647 representatividad, lo que confirma que el sistema de áreas protegidas del Valle del Cauca  
648 presenta vacíos o falencias en su diseño. En especial, es preocupante la poca representatividad  
649 que tiene el ratón *Zygodontomys brunneus* el cual tiene sólo el 5,8% de su distribución en áreas  
650 protegidas, pues la mayoría de su hábitat está en el valle interandino del Valle del Cauca en  
651 donde no existen muchas áreas protegidas. Esto es especialmente preocupante para esta especie  
652 endémica (Solari et al., 2013), lo que hace que su riesgo de extinción incremente (Isik, 2011;  
653 Ceretta et al., 2020). Además, las especies endémicas son utilizadas comúnmente para el diseño  
654 de áreas protegidas, ya que al protegerse sus territorios se puede conservar una biodiversidad  
655 significativa de la región que habitan (Bonn et al., 2002). La creación de áreas protegidas en un  
656 inicio correspondía a la necesidad de la protección del recurso agua, a la protección de sitios de  
657 alto valor estético o ecosistemas de interés (Chape et al., 2005), patrón que no es ajeno a  
658 Colombia (Gómez et al., 2014; Segura et al., 2016) dando como resultados vacíos geográficos en  
659 la instauración de reservas y consecuentemente la desprotección de muchas especies prioritarias

660 para la conservación. Por lo tanto, es importante incorporar las estrategias de filtro fino,  
661 analizando la distribución de las especies prioritarias para la conservación en el diseño de áreas  
662 protegidas en el departamento (Tingley et al., 2014). En el caso específico de este análisis, los  
663 criterios de representatividad a nivel de filtro grueso y fino indican la necesidad de establecer  
664 áreas protegidas en el Valle geográfico del río Cauca y la Llanura del Pacífico (Figura 2).

665 A nivel metodológico, se resalta el papel de los expertos en la construcción de los  
666 modelos de distribución arrojados por el programa MaxEnt. En general los modelos de hábitat se  
667 pueden dividir en dos categorías: opinión de expertos y modelos cuantitativos (Jones, 2017). Los  
668 modelos de opinión de expertos son descripciones cualitativas o cuantitativas interpretadas de  
669 publicaciones, utilizando métodos formales o informales (Franklin, 2010). Por su parte, los  
670 modelos de distribución de especies utilizan una función estadística basada en las relaciones entre  
671 una variable de respuesta (independiente) y un conjunto de variables explicativas (dependientes)  
672 (Mackey & Lindenmayer, 2001; Martínez-Minaya et al., 2018). Los modelos de distribución de  
673 expertos generalmente fallan al esquematizar la resolución de especies a nivel fino, sin embargo,  
674 incorporan información útil a nivel de la distribución a nivel grueso y al combinarse con modelos  
675 de distribución de especies permiten mejorar los resultados de la distribución (Merow et al.,  
676 2017). En el caso particular de los modelos realizados en esta investigación, la colaboración de  
677 expertos ayudó a recortar la distribución de sitios donde, debido a las limitaciones fisiológicas  
678 como altura o falta de hábitat ideal, no podrían estar presentes las especies. El caso más extremo  
679 es el de la especie nutria *L. longicaudis*, ya que el modelo de distribución de especies no  
680 restringía su distribución a hábitats acuáticos (Larivière, 1999; Franco-Pérez et al., 2020). En este  
681 caso, la distribución con el corte sugerido por el experto disminuyó la extensión de la especie  
682 cerca del 10%. Esta magnitud de variación es muy importante, ya que podría tener efectos en el  
683 criterio de representatividad en el caso de nuestro trabajo, pero también puede repercutir sobre  
684 otro tipo de procesos como delimitación de áreas protegidas con base en el supuesto de presencia  
685 de la especie.

686 La fragmentación es una presión importante en la biodiversidad existente en una región al  
687 alterar la dinámica de dispersión de las especies, aumentar los riesgos de depredación, disminuir  
688 los recursos disponibles y tener efectos en la reducción del hábitat (Kurki et al., 2000; Ferraz et  
689 al., 2007, Garcés-Restrepo et al., 2018). Aunque los análisis de filtro fino y grueso no evalúan  
690 implícitamente el impacto de la fragmentación (Noss, 1987; Groves, 2003, Tingley et al., 2014;

691 Jenkins et al., 2021), es importante que se hagan estudios encaminados a mitigar los efectos de la  
692 fragmentación causados por las carreteras 4G. Aunque los términos de referencia obligatorios en  
693 Estudios de Impacto Ambiental solicitan análisis de fragmentación FragStat (ANLA, 2018) y  
694 medidas de manejo en los planes de manejo ambiental, estos son limitados y constantemente  
695 fallan en el objetivo de mitigar los efectos de la fragmentación (Arroyabe et al., 2006).  
696 Específicamente en los tres proyectos de construcción de carreteras 4G en el Valle del Cauca, la  
697 fragmentación constituye una presión media, pues dos de los proyectos corresponden a  
698 ampliaciones de calzada. Sin embargo, a pesar de que ya existe en este caso una fragmentación,  
699 la ampliación de las calzadas aumenta el efecto barrera y la frecuencia vehicular, exacerbando los  
700 efectos deletéreos para la biodiversidad existente (Polak et al., 2014; 2019). Por su parte, el  
701 proyecto Mulaló-Loboguerrero es el único que contempla el trazado de carreteras nuevas  
702 (Andrade-Moreno, 2015). Aunque los estudios de impacto ambiental de este proyecto vial  
703 consideran que no causan impactos muy drásticos, (ya que la mayoría del proyecto se desarrolla  
704 en túneles y puentes, estructuras que en principio evitan perturbar la conectividad de los  
705 ecosistemas en superficie, y debido a que las otras áreas que afecta son zonas poca cobertura y  
706 con una baja biodiversidad al estar en un ecosistema dominado por arbustales y matorrales  
707 abiertos xerófilos (Resolución N°1429 del 17 de agosto de 2021 ANLA), no se puede desconocer  
708 que estos proyectos generan un aumento de la fragmentación y procesos negativos para la  
709 biodiversidad asociados con el atropellamiento de fauna (Adams & Geis, 1983; Laurance &  
710 Arrea, 2017), así como efectos colaterales negativos para la conservación de la biodiversidad  
711 asociados con el aumento de la probabilidad del asentamiento de especies invasoras y la  
712 expansión de las actividades humanas debido a la facilitación que brindan las carreteras para el  
713 establecimiento de asentamientos humanos (Spellberg, 1998; Daigle, 2010; Jaeger & Torres,  
714 2021).

715

## 716 **10. CONCLUSIONES**

717 Debido a la poca extensión superficial en hectáreas que tienen los proyectos del programa  
718 de Cuarta Generación (4G) de Concesiones Viales de Colombia en el departamento del Valle del  
719 Cauca, su construcción en principio no generaría una modificación significativa desde el punto de  
720 vista de la representatividad ecosistémica y de especies prioritarias para la conservación. Al ser  
721 muy pequeña el área de afectación, las compensaciones planteadas por estos proyectos tampoco

722 contribuirán de forma significativa a mejorar la representatividad de filtro grueso y fino de los  
723 ecosistemas del departamento del Valle del Cauca. Este resultado es válido sólo para la  
724 representatividad ecológica, ya que estas carreteras al ser proyectos de desarrollo lineal generan  
725 fragmentación y alteración de la conectividad ecológica que afectan la biodiversidad local por la  
726 alteración de las coberturas naturales, modificación de los hábitats, aumento de atropellamientos  
727 de la fauna silvestre, así como el impacto colateral de intensificación de actividades humanas a lo  
728 largo de su recorrido.

729 Un hallazgo importante de esta investigación es que no existe una representatividad a  
730 nivel de ecosistemas ni para especies prioritarias para muchos de los ecosistemas del Valle del  
731 Cauca. Estos análisis permitieron identificar vacíos en el diseño de áreas protegidas del Valle del  
732 Cauca, concentrados en el Valle geográfico del Río Cauca y en la llanura del Pacífico, en las  
733 zonas de vida de bosques secos tropicales y bosques lluviosos tropicales. Por lo tanto, se  
734 recomienda que las corporaciones ambientales regionales y nacionales establezcan reservas en  
735 estas áreas geográficas. Para alcanzar una representatividad de al menos 10%, se deben establecer  
736 al menos 20,500 hectáreas de áreas protegidas.

737 Debido a la deficiencia de áreas protegidas en algunos ecosistemas particulares, es decir a  
738 la falta de representatividad ecológica a nivel de filtro grueso, se plantea la necesidad de que las  
739 estrategias de compensación flexibilicen el establecimiento de compensaciones en áreas que no  
740 necesariamente sean equivalentes con el fin de cumplir con objetivos globales de conservación,  
741 siempre y cuando se garantice la representatividad de los ecosistemas intervenidos. Plantear  
742 alternativas como eco-compensación, pagos por servicios ambientales o la simple modificación  
743 del manual de compensación, podrían mejorar la eficacia de las compensaciones para alcanzar  
744 una protección a nivel regional representativa de la biodiversidad.

745

746 **11. REFERENCIAS**

- 747 Adams, L. W., & Geis, A. D. (1983). Effects of roads on small mammals. *Journal of Applied*  
748 *Ecology*, 403-415.
- 749 Alberico, M., Trujillo, F., & Jorgenson, J. E. F. F. (2006). Libro rojo de los mamíferos de  
750 Colombia (pp. 433-433). J. V. Rodríguez-Mahecha (Ed.). Bogotá, Colombia: Conservación  
751 Internacional Colombia.
- 752 Andrade-Díaz, M. S., Giraud, A. R., Marás, G. A., Didier, K., Sarquis, J. A., Díaz-Gómez, J.  
753 M., & Prieto-Torres, D. A. (2021). Austral Yungas under future climate and land-use  
754 changes scenarios: the importance of protected areas for long-term amphibian conservation.  
755 *Biodiversity and Conservation*, 30(12), 3335-3357.
- 756 Andrade-Moreno, L. M. (2015). Cuarta generación de Concesiones de Colombia. Recuperado de  
757 [https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta\\_generacion\\_de\\_concesiones\\_luis\\_fernand](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta_generacion_de_concesiones_luis_fernando_andrade_moreno.pdf)  
758 [o\\_andrade\\_moreno.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta_generacion_de_concesiones_luis_fernando_andrade_moreno.pdf).
- 759 ANLA, M. (2018). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios  
760 ambientales. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional  
761 de Licencias Ambientales.
- 762 Ariza-Pardo, D. M., & Moreno-Hincapié, J. C. (2017). *Análisis comparativo sobre*  
763 *compensaciones ambientales por pérdida de biodiversidad en el contexto nacional e*  
764 *internacional*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos  
765 Alexander von Humboldt.
- 766 Arroyave, M. D. P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., ...  
767 & Ramos, K. C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales  
768 medidas de manejo. *Revista eia*, (5), 45-57.
- 769 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2018). *Resolución No. 01450. Por la cual se*  
770 *evalúa un plan de compensación por pérdida de biodiversidad*. Recuperado de  
771 [http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res\\_1450\\_04092018\\_ct\\_3205.pdf](http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_1450_04092018_ct_3205.pdf).
- 772 Banca de Desarrollo Territorial, F. (2021). Estudio multisectorial Departamento del Valle.

- 773 Business and biodiversity offsets Programme (BBOP). 2009. Biodiversity Offset Design  
774 Handbook. BBOP, Washington, D.C.
- 775 Bernes, C., Bullock, J. M., Jakobsson, S., Rundlöf, M., Verheyen, K., & Lindborg, R. (2017).  
776 How are biodiversity and dispersal of species affected by the management of roadsides? A  
777 systematic map. *Environmental Evidence*, 6(1), 1-16. doi: 10.1186/s13750-017-0103-  
778 1Brown, S. C., & Veneman, P. L. (2001). Effectiveness of compensatory wetland  
779 mitigation in Massachusetts, USA. *Wetlands*, 21(4), 508. doi: /10.1672/0277-  
780 5212(2001)021[0508:EOCWMI]2.0.CO;2
- 781 BirdLife International. 2016. *Psittacara wagleri*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016:  
782 e.T62293391A95196807. [https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-](https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T62293391A95196807.en)  
783 3.RLTS.T62293391A95196807.en. Downloaded on 07 July 2021.
- 784 Bonn, A., Rodrigues, A. S., & Gaston, K. J. (2002). Threatened and endemic species: are they  
785 good indicators of patterns of biodiversity on a national scale? *Ecology letters*, 5(6), 733-  
786 741. Bull, J. W., & Brownlie, S. (2017). The transition from No Net Loss to a Net Gain of  
787 biodiversity is far from trivial. *Oryx*, 51(1), 53-59. doi: [https://doi.org/](https://doi.org/10.1017/S0030605315000861)  
788 10.1017/S0030605315000861.
- 789 Brown, S. C., & Veneman, P. L. (2001). Effectiveness of compensatory wetland mitigation in  
790 Massachusetts, USA. *Wetlands*, 21(4), 508. doi: /10.1672/0277-  
791 5212(2001)021[0508:EOCWMI]2.0.CO;2.
- 792 Business and Biodiversity Offsets Programme. (2012). *Guidance notes to the standard on*  
793 *biodiversity offsets*. Recuperado de [https://www.forest-](https://www.forest-trends.org/wpcontent/uploads/imported/BBOP_Standard_Guidance_Notes_20_Mar_2012_Final_WEB.pdf)  
794 [trends.org/wpcontent/uploads/imported/BBOP\\_Standard\\_Guidance\\_Notes\\_20\\_Mar\\_2012\\_](https://www.forest-trends.org/wpcontent/uploads/imported/BBOP_Standard_Guidance_Notes_20_Mar_2012_Final_WEB.pdf)  
795 [Final\\_WEB.pdf](https://www.forest-trends.org/wpcontent/uploads/imported/BBOP_Standard_Guidance_Notes_20_Mar_2012_Final_WEB.pdf).
- 796 Cao, Y., Williams, D. D., & Larsen, D. P. (2002). Comparison of ecological communities: the  
797 problem of sample representativeness. *Ecological Monographs*, 72(1), 41-56. doi:  
798 /10.1890/0012-9615(2002)072[0041:COECTP] 2.0.CO;2.
- 799 Ceretta, B. F., Fogliarini, C. O., Giglio, V. J., Maxwell, M. F., Waechter, L. S., & Bender, M. G.  
800 (2020). Testing the accuracy of biological attributes in predicting extinction risk.  
801 *Perspectives in Ecology and Conservation*, 18(1), 12-18.

- 802 Chape, S., Harrison, J., Spalding, M., & Lysenko, I. (2005). Measuring the extent and  
803 effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets.  
804 *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 443-  
805 455.
- 806 Coad, L., Burgess, N. D., Bomhard, B., & Besançon, C. (2009). Progress towards the Convention  
807 on Biological Diversity's 2010 and 2012 targets for protected area coverage. *Parks: The*  
808 *International Journal for Protected Area Managers*, 17, 35-72.
- 809 Conway, M., Rayment, M., White, A., Berman, S., Turbé, A., Chenot, B., ... & Mudgal, S.  
810 (2013). Exploring potential demand for and supply of habitat banking in the EU and  
811 appropriate design elements for a habitat banking scheme. E. Commission (ed.), ICF GHK,  
812 Bio Intelligence Service, London.
- 813 Corporación Autónoma Regional del Tolima & Programa Medio Ambiente Colombia – GIZ.  
814 (2017). Portafolio de áreas prioritarias para la conservación y compensación por pérdida de  
815 biodiversidad del Tolima. Ibagué, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Tolima.
- 816 Crooks, K. R., Burdett, C. L., Theobald, D. M., King, S. R., Di Marco, M., Rondinini, C., &  
817 Boitani, L. (2017). Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in  
818 terrestrial mammals. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 114(29), 7635-  
819 7640.
- 820 Crosby, A. D., Porter, W. F., Roloff, G. J., Walters, M. B., & Donovan, M. L. (2020). Combining  
821 conservation value with conservation filters to guide forest management for avian  
822 biodiversity. *Forest Ecology and Management*, 466, 118131.
- 823 Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014).  
824 Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en  
825 Maxent. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(2), 187-201.
- 826 Cuperus, R., Canters, K. J., de Haes, H. A. U., & Friedman, D. S. (1999). Guidelines for  
827 ecological compensation associated with highways. *Biological Conservation*, 90(1), 41-51.
- 828 Daigle, P. (2010). A summary of the environmental impacts of roads, management responses,  
829 and research gaps: A literature review. *Journal of Ecosystems and Management*, 10(3).



- 830 Dale, V. H., Brown, S., Haeuber, R.A., Hobbs, N.T., Huntly, N., Naiman, R.J., Valone, T. J.  
831 (2000). Ecological principles and guidelines for managing the use of land. *Ecological*  
832 *Applications*,10(3), 639-670. doi: 10.1890/1051-0761(2000)010[0639:EPAGFM]2.0.CO;2
- 833 Darbi, M., Ohlenburg, H., Herberg, A., Wende, W., Skambracks, D., & Herbert, M. (2009).  
834 International approaches to compensation for impacts on biological diversity. Recuperado  
835 de [https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/biokom\\_final-](https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/biokom_final-report_ioer_tub-pdf.pdf)  
836 [report\\_ioer\\_tub-pdf.pdf](https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/biokom_final-report_ioer_tub-pdf.pdf).
- 837 de Souza, A. C., & Prevedello, J. A. (2020). The importance of protected areas for overexploited  
838 plants: Evidence from a biodiversity hotspot. *Biological Conservation*, 243, 108482.
- 839 Dietz, R. W., & Czech, B. (2005). Conservation deficits for the continental United States: an  
840 ecosystem gap analysis. *Conservation biology*, 19(5), 1478-1487. doi: Bernes, C., Bullock,  
841 J. M., Jakobsson, S., Rundlöf, M., Verheyen, K., & Lindborg, R. (2017). How are  
842 biodiversity and dispersal of species affected by the management of roadsides? A  
843 systematic map. *Environmental Evidence*, 6(1), 1-16. doi: 10.1186/s13750-017-0103-1.
- 844 Dietz, M. S., Belote, R. T., Gage, J., & Hahn, B. A. (2020). An assessment of vulnerable wildlife,  
845 their habitats, and protected areas in the contiguous United States. *Biological Conservation*,  
846 248, 108646.
- 847 Dinerstein, E., Vynne, C., Sala, E., Joshi, A. R., Fernando, S., Lovejoy, T. E., ... &  
848 Wikramanayake, E. (2019). A global deal for nature: guiding principles, milestones, and  
849 targets. *Science advances*, 5(4), eaaw2869. Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S.,  
850 Buchmann, C., Carl, G., Carré, G.,Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods  
851 to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27-  
852 46. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- 853
- 854 Dormann, C. F., Bobrowski, M., Dehling, D. M., Harris, D. J., Hartig, F., Lischke, H., ... &  
855 Kraan, C. (2018). Biotic interactions in species distribution modelling: 10 questions to  
856 guide interpretation and avoid false conclusions. *Global ecology and biogeography*, 27(9),  
857 1004-1016.

- 858 Dudley, N., Parrish, J. D., Redford, K. H., & Stolton, S. (2010). The revised IUCN protected area  
859 management categories: the debate and ways forward. *Oryx*, 44(4), 485-490.
- 860 Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ...Zimmermann, N. E.  
861 (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data.  
862 *Ecography*, 29(2), 129-151. doi: //doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x
- 863 ESRI. (2011). ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research  
864 Institute.
- 865 Fahrig, L. (2001). How much habitat is enough? *Biological conservation*, 100(1), 65-74. doi:  
866 //10.1016/S0006-3207 (00)00208-1
- 867 Ferraz, G., Nichols, J. D., Hines, J. E., Stouffer, P. C., Bierregaard, R. O., & Lovejoy, T. E.  
868 (2007). A large-scale deforestation experiment: effects of patch area and isolation on  
869 Amazon birds. *science*, 315(5809), 238-241.
- 870 Forman, R. T. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C.D., Dale, V. H.,  
871 Winter, T.C (2003). Road ecology. Science and solutions. United States, Washington DC:  
872 Island Press.
- 873 Franco-Pérez, L. M., Hincapié-Usma, P. A., Restrepo, C. A., Balaguera-Reina, S. A., & Guevara,  
874 G. (2020). Distribution and habitat use intensity of the Neotropical Otter (*Lontra*  
875 *longicaudis*) in a Colombian hydroelectric dam. *Revista de Biología Tropical*, 68, 177-189.
- 876 Franklin, J. (2010). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge  
877 University Press.
- 878 Garcés Restrepo, M. F., Cuéllar, N., & Giraldo, A. (2016). Diversidad de mamíferos en una área  
879 con relictos de bosque seco en el Magdalena Medio (Caldas, Colombia). *Revista de*  
880 *Ciencias*, 20(2), 147-160.
- 881 Garcés-Restrepo, M. F., Pauli, J. N., & Peery, M. Z. (2018). Natal dispersal of tree sloths in a  
882 human-dominated landscape: Implications for tropical biodiversity conservation. *Journal of*  
883 *Applied Ecology*, 55(5), 2253-2262.

- 884 Gaston, K. J., Jackson, S. F., Cantú-Salazar, L., & Cruz-Piñón, G. (2008). The ecological  
885 performance of protected areas. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 39,  
886 93-113.GBIF.org (2019), Página de Inicio de GBIF. Disponible en: <https://www.gbif.org>  
887 [13 de agosto de 2019].
- 888 Geldmann, J., Manica, A., Burgess, N. D., Coad, L., & Balmford, A. (2019). A global-level  
889 assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures.  
890 *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(46), 23209-23215.
- 891 Gibbons, P., Macintosh, A., Constable, A. L., & Hayashi, K. (2018). Outcomes from 10 years of  
892 biodiversity offsetting. *Global change biology*, 24(2), 643-654. doi: 10.1111/gcb.13977.
- 893 González-Maya, J. F., Viquez-R, L. R., Belant, J. L., & Ceballos, G. (2015). Effectiveness of  
894 protected areas for representing species and populations of terrestrial mammals in Costa  
895 Rica. *PloS one*, 10(5), e0124480.
- 896 Groves, C. (2003). *Drafting a conservation blueprint: a practitioner's guide to planning for*  
897 *biodiversity*. United States, Washington DC: Island Press.
- 898 Hazen, H. D., & Anthamatten, P. J. (2004). Representation of ecological regions by protected  
899 areas at the global scale. *Physical Geography*, 25(6), 499-512.Haufler, J. B., Mehl, C. A., &  
900 Roloff, G. J. (1999). Conserving biological diversity using a coarse-filter approach with a  
901 species assessment. *Practical approaches to the conservation of biological diversity*. Island  
902 Press, Washington, DC, 107-121.
- 903 Işık, K. (2011). Rare and endemic species: why are they prone to extinction? *Turkish Journal of*  
904 *Botany*, 35(4), 411-417.
- 905 Jaeger, J. A., & Torres, A. (2021). Fourteen lessons from road ecology for cumulative effect  
906 assessments. In *Handbook of Cumulative Impact Assessment*. Edward Elgar Publishing.
- 907 Jenkins, D. G., Boughton, E. H., Bohonak, A. J., Noss, R. F., Simovich, M. A., & Bauder, E. T.  
908 (2021). Indicator-species and coarse-filter approaches in conservation appear insufficient  
909 alone. *Global Ecology and Conservation*, e01667.
- 910 Jonas, H. D., Ahmadi, G. N., Bingham, H. C., Briggs, J., Butchart, D. H. M., Cariño, J., ... &  
911 von Weizsäcker, C. (2021). Equitable and effective area-based conservation: towards the

- 912 conserved areas paradigm. *PARKS: The International Journal of Protected Areas and*  
913 *Conservation*, 27.
- 914 Jones, A. S. (2017). Relationships between Species Distribution Models, Expert Opinion Models,  
915 and Measures of Habitat Quality for Desert Bighorn Sheep in Arizona (Doctoral  
916 dissertation, Northern Arizona University).
- 917 Koh, N. S., Hahn, T., & Ituarte-Lima, C. (2017). Safeguards for enhancing ecological  
918 compensation in Sweden. *Land Use Policy*, 64, 186-199.
- 919 Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in ecology & evolution*,  
920 22(11), 569-574.
- 921 Kuuluvainen, T. (2017). Restoration and ecosystem management in the boreal forest: from  
922 ecological principles to tactical solutions. En S. K. Allison & S. D. Murphy (Eds.),  
923 *Routledge handbook of ecological and environmental restoration* (pp. 92-112). England,  
924 London: Routledge.
- 925 Larivière, S. (1999). *Lontra longicaudis*. *Mammalian species*, (609), 1-5.
- 926 Laurance, W. F., & Arrea, I. B. (2017). Roads to riches or ruin? *Science*, 358(6362), 442-444.
- 927 Lawler, J. J., Ackerly, D. D., Albano, C. M., Anderson, M. G., Dobrowski, S. Z., Gill, J. L.,  
928 Weiss, S. B. (2015). The theory behind, and the challenges of, conserving nature's stage in  
929 a time of rapid change. *Conservation Biology*, 29(3), 618-629. doi:10.1111/cobi.12505.
- 930 López-Arbeláez, D. M., & Quintero-Sagre, J. D. (2015). Compensaciones de biodiversidad:  
931 experiencias en Latinoamérica y aplicación en el contexto colombiano. *Gestión y*  
932 *Ambiente*, 18(1), 159-177. doi:10.15446/ga.
- 933 Madadi, H., Moradi, H., Soffianian, A., Salmanmahiny, A., Senn, J., & Geneletti, D. (2017).  
934 Degradation of natural habitats by roads: Comparing land-take and noise effect zone.  
935 *Environmental Impact Assessment Review*, 65, 147-155.
- 936 Mackey, B. G., & Lindenmayer, D. B. (2001). Towards a hierarchical framework for modelling  
937 the spatial distribution of animals. *Journal of Biogeography*, 28(9), 1147-1166.

- 938 Martinez-Minaya, J., Cameletti, M., Conesa, D., & Pennino, M. G. (2018). Species distribution  
939 modeling: a statistical review with focus in spatio-temporal issues. *Stochastic*  
940 *environmental research and risk assessment*, 32(11), 3227-3244.
- 941 Matthews, J. W., & Endress, A. G. (2008). Performance criteria, compliance success, and  
942 vegetation development in compensatory mitigation wetlands. *Environmental Management*,  
943 41(1), 130-141. doi:10.1007/s00267-007-9002-5.
- 944 May, J., Hobbs, R. J., & Valentine, L. E. (2017). Are offsets effective? An evaluation of recent  
945 environmental offsets in Western Australia. *Biological Conservation*, 206, 249-257. doi:  
946 /10.1016/j.biocon.2016.11.038.
- 947 Maxwell, S. L., Cazalis, V., Dudley, N., Hoffmann, M., Rodrigues, A. S., Stolton, S., ... &  
948 Watson, J. E. (2020). Area-based conservation in the twenty-first century. *Nature*,  
949 586(7828), 217-227.
- 950 MacArthur, R. H. (1984). *Geographical ecology: patterns in the distribution of species*. Princeton  
951 University Press.
- 952 McGowan, J., Beaumont, L. J., Smith, R. J., Chauvenet, A. L., Harcourt, R., Atkinson, S. C., ... &  
953 Possingham, H. P. (2020). Conservation prioritization can resolve the flagship species  
954 conundrum. *Nature communications*, 11(1), 1-7.
- 955 McPherson, J., & Jetz, W. (2007). Effects of species' ecology on the accuracy of distribution  
956 models. *Ecography*, 30(1), 135-151.
- 957 Merow, C., Wilson, A. M., & Jetz, W. (2017). Integrating occurrence data and expert maps for  
958 improved species range predictions. *Global Ecology and Biogeography*, 26(2), 243-258.
- 959 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Manual de compensaciones del  
960 componente biótico. Recuperado de [http://www.  
961 andi.com.co/Uploads/Manual%20de%20Compensaciones%20del%20Componente%20Bi  
962 %C3%B3tico%202018.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Manual%20de%20Compensaciones%20del%20Componente%20Bi%C3%B3tico%202018.pdf)
- 963 Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (2012). *Manual Para La Asignación De*  
964 *Compensaciones Por Pérdida De Biodiversidad*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y  
965 Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

- 966 Montoya-Colonia, A. M. (2010). Conformación del mapa de ecosistemas del Valle del Cauca  
967 empleando sistemas de información geográfica. *Ventana Informática*, 22, doi: 11-38.  
968 /10.30554/ventanainform.22.207.2010
- 969 Mosquera-Laverde, W. E., & Vásquez-Bernal, O. A. (2015) Herramientas de gestión ambiental  
970 para las carreteras de cuarta generación (4g) en Colombia. *Publicaciones e Investigación*, 9:  
971 87-98. doi:/10.22490/25394088.1436 //doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00114.x.
- 972 Murcia, C., Guariguata, M. R., Quintero-Vallejo, E., & Ramírez, W. (2017). La restauración  
973 ecológica en el marco de las compensaciones por pérdida de biodiversidad en Colombia.  
974 Recuperado en [http://www.andi.com.co/Uploads/  
975 19.%20La%20restauraci%C3%B3n%20en%20el%20marco%20de%20las%20compensacio  
976 nes.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/19.%20La%20restauraci%C3%B3n%20en%20el%20marco%20de%20las%20compensaciones.pdf)
- 977 Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000).  
978 Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- 979 Noss, R. F. (1987). From plant communities to landscapes in conservation inventories: a look at  
980 The Nature Conservancy (USA). *Biological conservation*, 41(1), 11-37.
- 981 Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation  
982 biology*, 4(4), 355-364. doi: /10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x
- 983 Osborn, D., Cutter, A., & Ullah, F. (2015). Universal sustainable development goals. Recuperado  
984 de [https://sustainabledevelopment.un.org/content/  
985 \\_SDG\\_Universality\\_Report\\_-\\_May\\_2015.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1684SF_-_SDG_Universality_Report_-_May_2015.pdf) documents/1684SF\_-
- 986 Persson, J., Larsson, A., & Villarroya, A. (2015). Compensation in Swedish infrastructure  
987 projects and suggestions on policy improvements. *Nature Conservation*, 11, 113-127. doi:  
988 10.3897/natureconservation.11.4367.
- 989 Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new  
990 extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175. doi:  
991 /10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.
- 992 Pimm, S. L., Ayres, M., Balmford, A., Branch, G., Brandon, K., Brooks, T., ... & Wilcove, D.  
993 (2001). Can we defy nature's end?

- 994 Pinto, F. A., Bager, A., Clevenger, A. P., & Grilo, C. (2018). Giant anteater (*Myrmecophaga*  
995 *tridactyla*) conservation in Brazil: Analysing the relative effects of fragmentation and  
996 mortality due to roads. *Biological Conservation*, 228, 148-157.
- 997 Pilgrim, J. D., Brownlie, S., Ekstrom, J. M., Gardner, T. A., von Hase, A., Kate, K. ...Ward, G.  
998 (2013). A process for assessing the offsetability of biodiversity impacts. *Conservation*  
999 *Letters*, 6(5), 376-384.
- 1000 Polak, T., Rhodes, J. R., Jones, D., & Possingham, H. P. (2014). Optimal planning for mitigating  
1001 the impacts of roads on wildlife. *Journal of applied ecology*, 51(3), 726-734.
- 1002 Polak, T., Nicholson, E., Grilo, C., Bennett, J. R., & Possingham, H. P. (2019). Optimal planning  
1003 to mitigate the impacts of roads on multiple species. *Journal of applied ecology*, 56(1), 201-  
1004 213.
- 1005 Pope, J., Annandale, D., & Morrison-Saunders, A. (2004). Conceptualising sustainability  
1006 assessment. *Environmental Impact Assessment Review*; 24, 595-616. doi:  
1007 10.1016/j.eiar.2004.03.001
- 1008 Powell, G. V., Barborak, J., & Rodriguez, M. (2000). Assessing representativeness of protected  
1009 natural areas in Costa Rica for conserving biodiversity: a preliminary gap analysis.  
1010 *Biological Conservation*, 93(1), 35-41.
- 1011 Purvis, A., Gittleman, J. L., Cowlishaw, G., & Mace, G. M. (2000). Predicting extinction risk in  
1012 declining species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological*  
1013 *Sciences*, 267(1456), 1947-1952. doi: /10.1098/rspb. 2000.1234
- 1014 Rangel-Ch, J. O., & Rivera-Díaz, O. (2004). Diversidad y riqueza de espermatófitos en el Chocó  
1015 biogeográfico. *Colombia Diversidad Biótica IV: el Chocó Biogeográfico/Costa pacífica*.  
1016 Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá, 83-104.
- 1017 Rueda-Almonacid, J. V., Lynch, J. D., & Amézquita, A. (2004). Libro rojo de los anfibios de  
1018 Colombia. *Conservación Internacional Colombia*.
- 1019 Sáenz, S., Walschburger, T., González, J. C., León, J., McKenney, B., & Kiesecker, J. (2013). A  
1020 framework for implementing and valuing biodiversity offsets in Colombia: A landscape  
1021 scale perspective. *Sustainability*, 5(12), 4961-4987. doi:10.3390/su5124961

- 1022 Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E., & Ward, B. P. (2015). Exploring connections among nature,  
1023 biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to  
1024 enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem services*, 12, 1-15. doi:  
1025 /10.1016/j.ecoser.2014.12.007
- 1026 Sarmiento, M. (2014). Hacia un sistema de bancos de hábitat como herramienta de compensación  
1027 ambiental en Colombia. Recuperado de [http://fundepublico .org/ wp-](http://fundepublico.org/wp-content/uploads/2014/05/Capitulo-1.pdf)  
1028 [content/uploads/2014/05/Capitulo-1.pdf](http://fundepublico.org/wp-content/uploads/2014/05/Capitulo-1.pdf).
- 1029 Scott, J. M., Abbitt, R. J., & Groves, C. R. (2001). What are we protecting? *Conservation*  
1030 *Biology in Practice*, 2(1), 18-19.
- 1031 Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2004). Decisions adopted by the  
1032 Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its seventh meeting.  
1033 UNEP/CBD/COP/7/21.
- 1034 Schumm, M., White, A. E., Supriya, K., & Price, T. D. (2020). Ecological limits as the driver of  
1035 bird species richness patterns along the east Himalayan elevational gradient. *The American*  
1036 *Naturalist*, 195(5), 802-817.
- 1037 Skärbäck, Erik. (2007). Urban forests as compensation measures for infrastructure development.  
1038 *Urban Forestry & Urban Greening*, 6(4), 279-285. doi: /10.1016/j.ufug.2007.05.006.
- 1039 Spellerberg, I. A. N. (1998). Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global*  
1040 *Ecology & Biogeography Letters*, 7(5), 317-333.
- 1041 Solari, S., Muñoz-Saba, Y., Rodríguez-Mahecha, J. V., Defler, T. R., Ramírez-Chaves, H. E., &  
1042 Trujillo, F. (2013). Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia.  
1043 *Mastozoología neotropical*, 20(2), 301-365. Sonter, L. J., Barnes, M., Matthews, J. W., &  
1044 Maron, M. (2019). Quantifying habitat losses and gains made by US Species Conservation  
1045 Banks to improve compensation policies and avoid perverse outcomes. *Conservation*  
1046 *Letters*, 2019,12: e12629. doi: /10.1111/conl.12629
- 1047 Soto, A., & Sarmiento, M. (2014). Hidrocarburos y compensaciones por pérdida de  
1048 biodiversidad: oportunidad para el desarrollo sostenible. *Revista de Ingeniería*, 40, 43-68.  
1049 doi: /10.16924%2Friu.v0i40.662



- 1050 Soulé, M. E., & Sanjayan, M. A. (1998). Ecology: conservation targets: do they help? *Science*,  
1051 1998, 2060-2061. doi: 10.1126/science.279.5359.2060.
- 1052 Stevens, G. C. (1992). The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's  
1053 latitudinal rule to altitude. *The American Naturalist*, 140(6), 893-911.
- 1054 Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J., & Martínez-Ramos, M. (2008). Effects of conversion of dry  
1055 tropical forest to agricultural mosaic on herpetofaunal assemblages. *Conservation Biology*,  
1056 22(2), 362-374.
- 1057 Tingley, M. W., Darling, E. S., & Wilcove, D. S. (2014). Fine-and coarse-filter conservation  
1058 strategies in a time of climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1322,  
1059 92-109. doi: 10.1111/nyas.12484.
- 1060 Tremel, H., Sanchez, L., & Drewes, H. (2001). Procesamiento de la red GPS básica de Colombia.  
1061 Marco Geocéntrico Nacional, MAGNA. *Revista Cartográfica*, (73), 7.
- 1062 Trisurat, Y. (2007). Applying gap analysis and a comparison index to evaluate protected areas in  
1063 Thailand. *Environmental management*, 39(2), 235-245.
- 1064 Urbina Restrepo, S. (2020). Claves para la implementación de los bancos de hábitat en el sector  
1065 de Infraestructura en Colombia.
- 1066 Vaiškūnaitė, R., Mierauskas, P., & Špakauskas, V. (2012). Biodiversity impact assessment in  
1067 road development in Lithuania. *Transport* 27(2), 187-195. doi:  
1068 /10.3846/16484142.2012.695749
- 1069 Van der Hoek, Y., Zuckerberg, B., & Manne, L. L. (2015). Application of habitat thresholds in  
1070 conservation: Considerations, limitations, and future directions. *Global Ecology and*  
1071 *Conservation*, 3, 736-743. doi: /10.1016/j.gecco.2015.03.010
- 1072 Villarroya, A., Persson, J., & Puig, J. (2014). Ecological compensation: From general guidance  
1073 and expertise to specific proposals for road developments. *Environmental Impact*  
1074 *Assessment Review*, 45, 54-62. doi: /10.1016/j.eiar.2013.12.003.

- 1075 Visconti, P., Butchart, S. H., Brooks, T. M., Langhammer, P. F., Marnewick, D., Vergara, S., ...  
1076 & Watson, J. E. (2019). A bold successor to Aichi Target 11—Response. *Science*,  
1077 365(6454), 650-651.
- 1078 Waldron, A., Adams, V., Allan, J., Arnell, A., Asner, G., Atkinson, S., ... & Zhang, Y. (2020).  
1079 Protecting 30% of the planet for nature: costs, benefits, and economic implications.
- 1080 Watson, J. E., Dudley, N., Segan, D. B., & Hockings, M. (2014). The performance and potential  
1081 of protected areas. *Nature*, 515(7525), 67-73.
- 1082 Yu, H., Xie, W., Yang, L., Du, A., Almeida, C. M., & Wang, Y. (2020). From payments for  
1083 ecosystem services to eco-compensation: Conceptual change or paradigm shift? *Science of*  
1084 *the Total Environment*, 700, 134627.