



Rutas de conectividad para la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) en el norte y nordeste de Antioquia- Colombia y análisis a escala local en el área de influencia del embalse Porce
III

Valeria Giraldo Aristizábal

Trabajo de grado para optar por el título de Bióloga

Tutor

Carolina Zapata Escobar, Biol, MSc
Luz Yaneth Orozco Jiménez, Ph, D.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Biología

El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2022

Cita	(Giraldo Aristizábal, 2022)
Referencia	Giraldo Aristizábal, V. (2022). Rutas de conectividad para la nutria neotropical (<i>Lontra longicaudis</i>) en el norte y nordeste de Antioquia- Colombia y análisis a escala local en el área de influencia del embalse Porce III
Estilo APA 7 (2020)	[Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Colombia.



Biblioteca Seccional Oriente (El Carmen de Viboral)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Adriana Echeverry Isaza.

Jefe departamento: Ana Esperanza Franco Molano.

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.

Agradecimientos

Quiero agradecer a EPM y al GAIA por permitirme realizar este trabajo. A mis asesoras Carolina y Luz Yaneth por el tiempo, dedicación y todo el conocimiento que me transmitieron este año. A las chicas del grupo de nutrias del GAIA. A mis profesores durante toda la carrera. A todas las personas involucradas en mi formación como bióloga.

Tabla de contenido

Resumen.....	8
Introducción general	9
Hipótesis	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Marco conceptual	12
Referencias.....	14
Resultados Artículo 1. Potenciales rutas de dispersión de la nutria neotropical <i>Lontra Longicaudis</i> a nivel regional en la cuenca del alto Nechí y la parte norte de la cuenca del río Porce	17
Introducción	17
Metodología	19
Área de estudio.....	19
Modelación de la idoneidad de hábitat	20
Modelación de las rutas de dispersión.....	22
Resultados	24
Modelación de la idoneidad de hábitat	24
Modelación de las rutas de dispersión.....	27
Discusión.....	29
Referencias	34
Artículo 2. Idoneidad de habitat para la nutria neotropical <i>Lontra Longicaudis</i> en el área de influencia del embalse Porce III con inferencias en la conectividad local y regional.....	36
Introducción	36
Métodos.....	37
Área de estudio.....	37

Modelo de idoneidad de hábitat	38
Verificación de presencia de la nutria en el área de estudio	40
Modelo de las potenciales rutas de conectividad antes y después del embalse	41
Resultados	43
Modelo de idoneidad de hábitat	43
Verificación de presencia de la nutria en el área de estudio	44
Modelo de rutas de conectividad.....	45
Discusión.....	46
Modelo de idoneidad	46
Validación del modelo con datos de presencia	47
Rutas de dispersión.....	49
Comparación entre escala regional y local	50
Referencias	51

Lista de tablas

Tabla 1. Valores de idoneidad y peso para cada variable	22
Tabla 2. Valores y pesos para variables en matriz de resistencia	23
Tabla 3. Distancia entre áreas núcleos	29
Tabla 4. Valores de idoneidad y peso para cada variable	39
Tabla 5. Valores y pesos para variables en matriz de resistencia	42

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio regional	19
Figura 2. Modelo de idoneidad de hábitat.	25
Figura 3. Áreas Núcleo.	26
Figura 4. Rutas de menor costo y corredores	28
Figura 5. Modelo de idoneidad de hábitat local	44
Figura 6. Idoneidad con evidencia de presencia	45
Figura 7. Mapa de resistencia con ruta de menor costo	46

Resumen

La nutria neotropical es un mustélido semiacuático, tiene una amplia distribución que va desde México hasta el norte de Argentina. Las condiciones necesarias para su establecimiento es la presencia de ríos con abundancia de presas, principalmente peces, y buena cobertura vegetal. Esta especie se encuentra amenazada por la expansión de territorios agrícolas y ganaderos, contaminación de fuentes hídricas, cacería, por la mala planificación en el momento de construir centrales hidroeléctricas, entre otros, que pueden interrumpir las rutas de dispersión y conectividad con otras poblaciones. Se hizo una modelación de las rutas potenciales de dispersión a nivel regional de la nutria neotropical en las cuencas hidrográficas del alto Nechí y parte norte del Porce, con inferencias a escala local en el área de influencia del embalse Porce III, Antioquia. En el modelo se observó que tanto las rutas de menor costo como los corredores están asociados a drenajes de agua dobles y sencillos permanentes, vegetación secundaria, bosques fragmentados, pastos limpios y bosques densos; mientras que las áreas de mayor idoneidad tanto a escala regional como local, está influenciado por drenajes dobles, buena cobertura vegetal y alejado de actividades y asentamientos humanos. Se destaca igualmente la importancia de los ríos Nechí y Porce tanto para la conectividad como hábitats idóneos para la especie. Los modelos presentados identifican las zonas y los sistemas fluviales de mayor importancia, aportan al conocimiento de aspectos ecológicos (distribución potencial, características del hábitat, rutas potenciales de conexión) de la nutria neotropical *L. longicaudis* y, por lo tanto, sirve como insumo para implementar estrategia de manejo que minimicen los impactos de la fragmentación del paisaje y, a escala local, de los proyectos hidroeléctricos sobre estas poblaciones.

Palabras clave: Idoneidad del hábitat, sistemas hídricos, conectividad lateral, rutas de menor costo, corredores de dispersión.

Introducción general

La nutria neotropical *Lontra longicaudis*, es un mustélido semiacuático de la subfamilia Lutrinae, y tiene una distribución amplia desde México hasta el norte de Argentina. En Colombia se distribuye en todas las regiones biogeográficas, particularmente en las vertientes Atlántica y Pacífica de la región Andina con distribución altitudinal desde los 0 msnm hasta aproximadamente 2800 msnm (Mayor *et al.*, 2010).

Al tener hábitos semiacuáticos, tiende a desarrollarse a lo largo de los sistemas hidrográficos (Carranza *et al.*, 2012). Las áreas donde viven cumplen con ciertos requisitos, como cercanía a cuerpos de agua, una amplia vegetación ribereña, la cual utilizan como refugio y escape; buena disponibilidad de alimento principalmente peces (Rheingantz *et al.*, 2017); y también una buena calidad del agua, es decir que cumpla con características geofísicas del cauce (contaminantes, oxígeno disuelto, nutrientes, pH, etc) (EPM UdeA 2019).

A nivel global, la nutria neotropical se encuentra catalogada como casi amenazada (NT) por la UICN (2015), debido principalmente a la pérdida y fragmentación del hábitat y la contaminación de las fuentes hídricas que reduce las áreas de ocupación y el tamaño de sus poblaciones (Rheingantz *et al.*, 2017, Mayor *et al.*, 2010). Para Colombia es catalogada como Vulnerable (VU), por las razones antes mencionadas y según el plan de manejo de conservación de las nutrias de Colombia (Trujillo *et al.*, 2016) porque sus poblaciones se han visto afectadas por la mala planificación en la construcción y operación de centrales hidroeléctricas.

Como se mencionó anteriormente las áreas idóneas para la nutria corresponden a sistemas hidrográficos, por tanto, su hábitat es lineal, es decir responde a las formas que tenga el sistema hídrico. Sin embargo, se ha visto que la nutria es capaz de incursionar durante sus desplazamientos y actividades diarias en cierto porcentaje de tierra que incluye coberturas desde bosque denso hasta pasto limpio, pero solo trayectos cortos y de manera transitoria (Gómez *et al.*, 2014).

El norte y nordeste antioqueño es una región que ha presentado un deterioro ambiental acelerado en los últimos años, debido al incremento en las actividades agropecuarias, construcción de centros poblados, la minería formal e informal y la construcción de hidroeléctricas que han cambiado el uso del suelo y la transformación de los hábitats naturales (Monroy *et al.*, 2017). Esto trae como consecuencias erosión del suelo, sedimentación de cuerpos de agua y pérdida de hábitats para muchas especies de fauna y flora.

En estas subregiones del departamento, no se han realizado manejos ambientales adecuados para la protección de coberturas boscosas (Monroy *et al.*, 2017; Ceballos *et al.*, 2012). La cuenca del río Porce particularmente presenta gran presión antrópica, ya que el río Medellín, que desemboca en el río Porce, es calificado como un río altamente contaminado, debido a los vertimientos de agua residuales y a la cantidad de residuos sólidos que llegan a él, procedentes de Medellín que es el segundo centro poblado más grande de Colombia, generando graves conflictos a nivel fisicoquímico, sanitario y paisajístico tanto para las comunidades humanas como para la vida silvestre (Carvajal 2009).

Adicionalmente sobre el río Porce se han construido dos grandes hidroeléctricas, Porce II y Porce III, que pueden generar impactos sobre las poblaciones de nutria por reducción y reconfiguración del sistema hídrico y, cambios en las interacciones intra e interespecíficas por reconfiguración en la disponibilidad y acceso a recursos. También los muros de estas represas suponen una interrupción del gradiente ecológico y balance hídrico del río, pérdida y fragmentación del hábitat y por ende una barrera al movimiento de las nutrias aguas arriba y aguas abajo del embalse, lo que afectaría negativamente el flujo de individuos de la población (Quadros 2012).

Las problemáticas que se presentan en las cuencas del río Nechí y río Porce en términos de fragmentación y pérdida de calidad del hábitat pueden traer como consecuencia también una fragmentación de las poblaciones de nutria, dando como resultado subpoblaciones aisladas, que conlleva a endogamia, pérdida de diversidad genética y aceleración de la extinción local (Poor *et al.*, 2020). Partiendo de estas presiones sobre la especie, surge la pregunta de donde están los hábitats más idóneos que albergan poblaciones de nutrias en el área de análisis y cuales podrían ser las rutas potenciales y corredores de movimiento de la nutria neotropical entre las cuencas del alto Nechí y norte del río Porce, ya que en Colombia no hay estudios direccionados a evaluar la conectividad estructural y lateral de la nutria neotropical. Se pretende, por lo tanto, modelar las rutas potenciales de dispersión de la nutria *Lontra longicaudis* a nivel regional en las cuencas mencionadas, con inferencias a escala local en el área de influencia del embalse Porce III, Antioquia- Colombia.

Esta herramienta puede ser utilizada para tomar decisiones de manejo en pro de la conservación de la nutria *L. longicaudis*, ya que permite establecer la estructura ecológica principal en un área intervenida, priorizando cuales son las rutas y corredores más importantes para la

dispersión. También sirve como insumo para futuros estudios dirigidos a conectividad funcional que se quieran realizar en esta área de estudio.

Hipótesis

La nutria neotropical al tener hábitos semiacuáticos está estrechamente relacionada con los sistemas ribereños y bien conservados. Si la conectividad depende de estos sistemas, entonces las rutas de dispersión que está usando esta especie a nivel regional y en Porce III, están asociadas a sistemas de agua permanentes, con buena cobertura vegetal y con bajos niveles de actividad y presencia humana.

Objetivos

Objetivo general

Determinar las rutas potenciales de dispersión de la nutria *Lontra longicaudis* a nivel regional en las cuencas del alto Nechí y norte del río Porce, con inferencias a escala local en el área de influencia del embalse Porce III, Antioquia- Colombia.

Objetivos específicos

- Determinar un modelo de idoneidad de hábitat para la nutria neotropical a escala regional teniendo como ventana de análisis la cuenca del alto Nechí y en la parte norte de la cuenca del río Porce.
- Establecer las áreas núcleo para la nutria neotropical a escala regional en la cuenca del alto Nechí y en la parte norte de la cuenca del río Porce.
- Modelar la conectividad entre las áreas núcleo establecidas a nivel regional.
- Generar un modelo de idoneidad de hábitat a escala local en el área de influencia del embalse Porce III.
- Determinar la presencia de la nutria en el área de influencia del embalse Porce III y contrastar con el modelo de idoneidad de hábitat.

Marco conceptual

La nutria neotropical *L. longicaudis*, presenta estrecha dependencia a los ambientes acuáticos como fuente de recursos tróficos y sitios de cría, hace que su supervivencia se relacione con la calidad del agua (Navarro *et al.*, 2017), y la conectividad dependa de estos sistemas fluviales y de coberturas favorables para ella, entre las que se encuentran los bosques (Carranza *et al.*, 2012). Su especificidad de hábitat la ha llevado a presentar riesgo de amenaza a nivel mundial y local (UICN 2005).

La conectividad del paisaje se puede definir como “el grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento de organismos entre parches de recursos” (Taylor 1993). Las principales amenazas que impiden que un territorio esté conectado son la pérdida de hábitat y la fragmentación, causadas por barreras artificiales y barreras naturales (Rodríguez *et al.*, 2017). Además, la conectividad tiene dos factores que influyen en la conexión potencial para una especie: un componente estructural que determina la conexión espacial de diferentes tipos de hábitat en el paisaje, y un componente funcional que se refiere a la respuesta en la conducta de los individuos y especies ante la estructura física del paisaje. En este último influyen los requisitos de hábitat de la especie, su tolerancia a hábitats alterados y la fase de vida (Alonso *et al.*, 2017). También se debe considerar conectividad lateral, que por ejemplo para la nutria describe los movimientos de dispersión hacia los ríos vecinos y que la conectividad longitudinal que describe el movimiento de las especies dentro de un sistema fluvial (Carranza *et al.*, 2012).

El uso de Sistemas de Información Geográfica ha sido una forma de estudiar estas especies en peligro, con esta herramienta se puede mapear con precisión sus distribuciones geográficas, analizar patrones espaciales, identificar hábitats adecuados, entre otros (Liu *et al.*, 2016; Mateo *et al.*, 2011). Los modelos de idoneidad de hábitat son representaciones cartográficas de espacios aptos para una especie, permitiendo encontrar relación de atributos ambientales con la presencia de la especie de interés (Mateo *et al.*, 2011; Lacerda *et al.*, 2020), y también son usados para el diseño de reservas y corredores de dispersión.

Una manera de mirar la conectividad del paisaje es por medio de un análisis de ruta de menor costo. Esta combina datos de ubicación de la especie con un mapa de resistencia, es decir, que tanto impide o facilita el movimiento de individuos en términos de costo, para así determinar cuáles son las rutas más probables de dispersión entre núcleos o áreas de alta idoneidad, de tal

forma que presentan todas las condiciones necesarias para el establecimiento de la especie (Liu *et al.*, 2016).

Con el continuo desarrollo humano y fragmentación el paisaje, las poblaciones de nutria también pueden fragmentarse, dando como resultado subpoblaciones aisladas, llevando a endogamia, pérdida de diversidad genética y acelerar la extinción local (Poor *et al.*, 2020). Una de las principales razones que impide que un territorio habitado por la nutria esté conectado con otro es la pérdida de hábitat y la fragmentación, causadas por barreras artificiales y/o barreras naturales (Rodríguez *et al.*, 2017) y aunque las nutrias pueden realizar sus actividades normales dentro de un mismo sistema fluvial, al momento de colonizar nuevas cuencas se debe de evaluar la conectividad de las redes dendríticas con otros dos tipos de movimientos como la conectividad longitudinal y lateral.

Modelos de conectividad para nutrias se han estudiado principalmente en la nutria euroasiática *Lutra lutra*. Looy *et al.*, (2014), evaluaron los parches de hábitat adecuados y establecieron un modelo de conectividad estructural para la nutria europea, encontrando que a menudo los corredores ribereños se identifican a partir de funciones de selección de recursos. El potencial de conectividad se determina mediante la evaluación del costo de pasar a través de diferentes tipos de hábitat basados en los resultados de esas funciones. También encontraron que los lugares con mayor conectividad son aquellos donde hay menor degradación antrópica del paisaje, donde los ríos son más lentos, productivos, y en su mayoría presentan estructuras más densamente ramificadas, ya que estas porciones del sistema fluvial que pueden no ser importantes como hábitat principal de la nutria, son importantes para permitir la colonización, al permitir que las nutrias se dispersen entre hábitat. El análisis integrador usado en esta investigación logro identificar segmentos vitales para la conectividad, lo cual mejoró el conocimiento de los corredores efectivos para la conservación y restauración, lo que gana peso gracias al valor emblemático de la especie elegida.

Para la nutria neotropical se han realizado algunos modelos de hábitat principalmente en México y Brasil. Gómez *et al.*, (2014), construyeron un mapa de distribución de la idoneidad del hábitat e identificaron los posibles factores antropogénicos que afectan la presencia de nutrias Neotropicales en el Bajo Delta del Río Paraná, que muestran la idoneidad del hábitat fue baja en las zonas con asentamientos humanos y tráfico de embarcaciones.

Para la escala local, estudios previos realizados en Porce III, muestran que la variable que más influyó en la presencia de la nutria fue la cobertura vegetal, con el porcentaje de bosque denso, como el más determinante en la presencia de la especie. La distancia de las vías fue a su vez una variable significativa, ya que la presencia de nutrias aumenta a mayor distancia. Otra variable importante fue la densidad de drenajes permanentes que se asocia a la presencia de alimento y posibilidad de dispersión. (Graciano 2020).

En conclusión y gracias a la evidencia disponible, se entiende que la fragmentación del paisaje afecta la distribución y el uso del hábitat por parte de la biota (Navarro *et al.*, 2017). Además, algunos de los impactos significativos en las nutrias causados por la construcción de represas incluyen la pérdida y destrucción directa del hábitat, la fragmentación de las poblaciones y la reducción de los terrenos de forrajeo adecuados (Pedroso *et al.*, 2014). Ambos impactos llevan a la formación de un entorno subóptimo para las nutrias. El conocimiento de aspectos ecológicos, como la distribución en el territorio, idoneidad de hábitat y la conectividad de la nutria neotropical *L. longicaudis* en un área modificada como resultado de la fragmentación del paisaje y construcción del embalse, permitirá entender los efectos de estos ambientes sobre las poblaciones de esta especie y dará elementos para aplicar posibles medidas que minimicen los impactos de los proyectos hidroeléctricos sobre estas poblaciones.

Referencias

- Alonso, M., Finegan B, Brenes C. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Ecología* 39(1): 140-156. 10.15446.
- Carranza, M., Saura, S., D'alessandro, E. (2012). Connectivity providers for semi-aquatic vertebrates: the case of the endangered otter in Italy. *Landscape Ecology*, 27(2), 281-290. Springer. DOI: 10.1007/s10980-011-9682-3
- Carvajal, E. (2009). Impacto ambiental y social del vertimiento de residuos sólidos y escombros sobre la calidad del río Medellín y algunos de sus afluentes. *El Ágora USB*, 9(1), 225–265. <https://doi.org/10.21500/16578031.1410>
- Ceballos, D., Toro R. (2012). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el municipio de Anorí, Antioquia, Colombia. *Gestión y*

Ambiente, 15(3), 51–64. Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36280>

- Gomez J, Tunez J, Fracassi N, Cassini M. (2014). Habitat suitability and anthropogenic correlates of Neotropical River otter (*Lontra longicaudis*) distribution. *Journal of Mammalogy* [Internet]. 95(4): 824- 833. 10.1644/13-MAMM-A-265
- Graciano, S. (2020). Factores de hábitat asociados a la presencia de la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) en el embalse Porce III, Antioquia, Colombia. [Tesis de pregrado]. [Medellín]: Universidad de Antioquia.
- Lacerda, V., Almeida, A., Pereira, A., Plaza., M. (2010). Influence of spatial extent on habitat suitability models for primate species of Atlantic Forest. *Ecological Informatics*, 61 101179
- Liu, F., McShea, W., Li, D. (2017). Correlating habitat suitability with landscape connectivity: A case study of Sichuan golden monkey in China. *Ecological Modelling*, 353, 37-43.
- Looy K, Piffady J, Cavillon C, Tormos T, Landry P. (2014). Integrated modelling of functional and structural connectivity of river corridors for European otter recovery. *Ecological Modelling*. 273, 229-235. 10.1016
- Mateo, R., Felicísimo, A., Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84, 217-240.
- Mayor, R., Boteto, A. (2010). Uso del hábitat por la nutria neotropical *Lontra longicaudis* (carnívora: mustelidae) en la zona baja del río roble, alto cauca, Colombia. *Boletín científico centro de museos*, 14 (1), 121 – 130. ISSN 0123 – 3068.
- Molina, F., Palacio, J., Zapata, C., Aristizábal, S., Orosco, L., Graciano, S. (2019). Gestión integral de la biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos en cuencas de interés para la generación de energía eléctrica por parte de empresas públicas de Medellín. Medellín: Universidad de Antioquia. Informe final.
- Monroy, D., Armenteras, D. (2017). Cambio de cobertura del suelo por minería aluvial en el río Nechí, Antioquia (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 20(1), 50–61. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n1.61513>
- Navarro, J., Spínola, M., Madrigal, A., Fonseca, A. (2017). Selección de hábitat de *Lontra longicaudis* (Carnivora, Mustelidae) bajo la influencia de la represa hidroeléctrica del río Peñas Blancas y sus tributarios, Alajuela, Costa Rica. *Uniciencia*. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=475950939008>

- Pedroso, N., Marques, T., Santos, M. (2014). The response of otters to environmental changes imposed by the construction of large dams. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* 24, 66–80. 10.1002/aqc.2379
- Poor, E., Scheick, B., Mullinax, J. (2020). Multiscale consensus habitat modeling for landscape level conservation prioritization. *Scientific Reports* 10(17783), 1-13. 10.1038/s41598-020-74716-3
- Quadros, J. (2012). Uso do habitat e estimativa populacional de lontras antes e depois da formação do reservatório de Salto Caxias, rio Iguaçu, Paraná, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation* 7(2), 97-107. 10.4013/nbc.2012.72.03
- Rheingantz, M., Santiago, V., Trinca, C. (2017). The Neotropical otter *Lontra longicaudis*: a comprehensive update on the current knowledge and conservation status of this semiaquatic carnivore. *Mammal Review*, 47 (17), 291-305. ISSN 0305-1838
- Rodríguez, A., Escalona, G., Plasencia, A. (2017). Distribución potencial y conectividad del paisaje: criterios para reevaluar el grado de amenaza de *Campylorhynchus yucatanicus* (Aves: Troglodytidae). *Biología tropical* 65(4), 1554-1568. 0034-7744
- Taylor, P. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.

Resultados

Artículo 1. Potenciales rutas de dispersión de la nutria neotropical *Lontra Longicaudis* a nivel regional en la cuenca del alto Nechí y la parte norte de la cuenca del río Porce

Introducción

El movimiento de las especies está cada vez más limitado debido a la fragmentación y pérdida de hábitat, expansión de tejidos urbanos, entre otros usos de la tierra por parte de los humanos, que obliga a las diferentes especies a ocupar o cruzar paisajes modificados en busca de hábitats adecuados para su desarrollo (Hemmingmoore *et al.*, 2020). Una consecuencia directa de la fragmentación es que la conectividad entre las poblaciones disminuye, lo cual podría llevar a la endogamia, o en un caso extremo la extinción de poblaciones aisladas (Rodríguez *et al.*, 2017). Es por esto que los estudios de distribución potencial y conectividad del paisaje surgen como una herramienta fundamental para poblaciones en hábitats fragmentados, pues no solo proporciona información ecológica, sino que sirven para evaluar el riesgo y elaborar planes de conservación e implementar estrategias que ayuden a mejorar las respuestas para contrarrestar los efectos adversos de la fragmentación del hábitat y facilitar su adaptación a los cambios en sus dominios naturales (Rodríguez *et al.*, 2017; Loy *et al.*, 2009; Saura *et al.*, 2010).

El uso de Sistemas de Información Geográfica han sido una forma de estudiar especies en peligro, y los modelos de idoneidad de hábitat se han utilizado cada vez más para diseño de reservas y corredores, predicción de los impactos del cambio climático y paisajístico y aplicación en planes de gestión ambiental y conservación de la biodiversidad. Los mapas de idoneidad estiman la probabilidad de que una especie use cada unidad de paisaje, por consiguiente, estos modelos sirven como insumo para la construcción de potenciales corredores de dispersión, sobre todo en áreas modificadas por el hombre, por ende, son un recurso primario al momento de evaluar la conectividad del paisaje (Carranza *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2016; Scharf *et al.*, 2018).

Desde un punto de vista estructural, la fragmentación es un proceso que produce la disgregación de un hábitat continuo (Herrera 2011). La conectividad estructural está dada por las características del hábitat, y cuáles son los componentes más idóneos de ese hábitat (Alonso *et al.*, 2017). En particular, para el análisis de la conectividad se requiere identificar los requerimientos de las especies y núcleos espaciales donde se puede establecer, para así poder obtener los vínculos

potenciales o áreas de dispersión entre ellos (Carranza *et al.*, 2012). Una suposición importante y ampliamente difundida es que los corredores representan franjas de hábitat adecuado que conectan parches más grandes del hábitat óptimo. Es importante, por lo tanto, identificar y mantener estos vínculos o corredores para aumentar la conectividad, y este aumento en la conectividad del paisaje puede mejorar la capacidad de una especie para hacer frente a la fragmentación y degradación del hábitat (Scharf *et al.*, 2018).

En el caso de mamíferos semiacuáticos como la nutria neotropical, para modelar la conectividad se deben tener en cuenta más elementos, ya que se necesita tanto componentes terrestres como acuáticos. Para el desarrollo y actividades normales las nutrias las pueden realizar dentro de un mismo sistema fluvial, sin embargo, para evaluar la conectividad de las redes dendríticas se deben considerar como pueden ser los diferentes tipos de movimientos individuales de las nutrias en respuesta al paisaje y así explicar los movimientos de dispersión a otros ríos, es decir, conectividad lateral (Carranza *et al.*, 2012).

Las cuencas del río Nechí y río Porce son las principales cuencas hidrográficas en el norte y nordeste del departamento de Antioquia, las cuales a su vez son una región frágil en términos ambientales cuya configuración paisajística manifiesta un mosaico de coberturas que históricamente ha estado influenciado por actividades antrópicas. Esta zona es importante con gran valor ambiental por los altos niveles de biodiversidad, donde las especies presentes allí se encuentran fuertemente amenazadas por procesos intensos de deforestación y alteración estructural de sus ecosistemas. La expansión de la frontera agropecuaria, la baja calidad del agua que presenta el río Porce por la descarga del río Medellín y la minería son el principal motor de cambio de la cobertura boscosa, generando impactos negativos en la región (Monroy *et al.*, 2017; Carvajal 2009). Por lo tanto, esta área se convierte en una fuente de alto riesgo para las poblaciones de nutrias en ambas cuencas, en términos de reducción en la disponibilidad de hábitats propicios y de la conectividad del paisaje.

Como se mencionó anteriormente la nutria neotropical está catalogada en Colombia como vulnerable según la UICN (Trujillo *et al.*, 2016), por lo que evaluar la conectividad lateral en esta especie es fundamental, sobre todo en un área fuertemente afectada por la deforestación y contaminación de los ríos, para así poder identificar los ríos que potencialmente pueden albergar nutrias y a su vez sistemas fluviales y áreas terrestres a través de las cuales la especie podría dispersarse, y así orientar mejor las acciones de conservación destinados a promover la

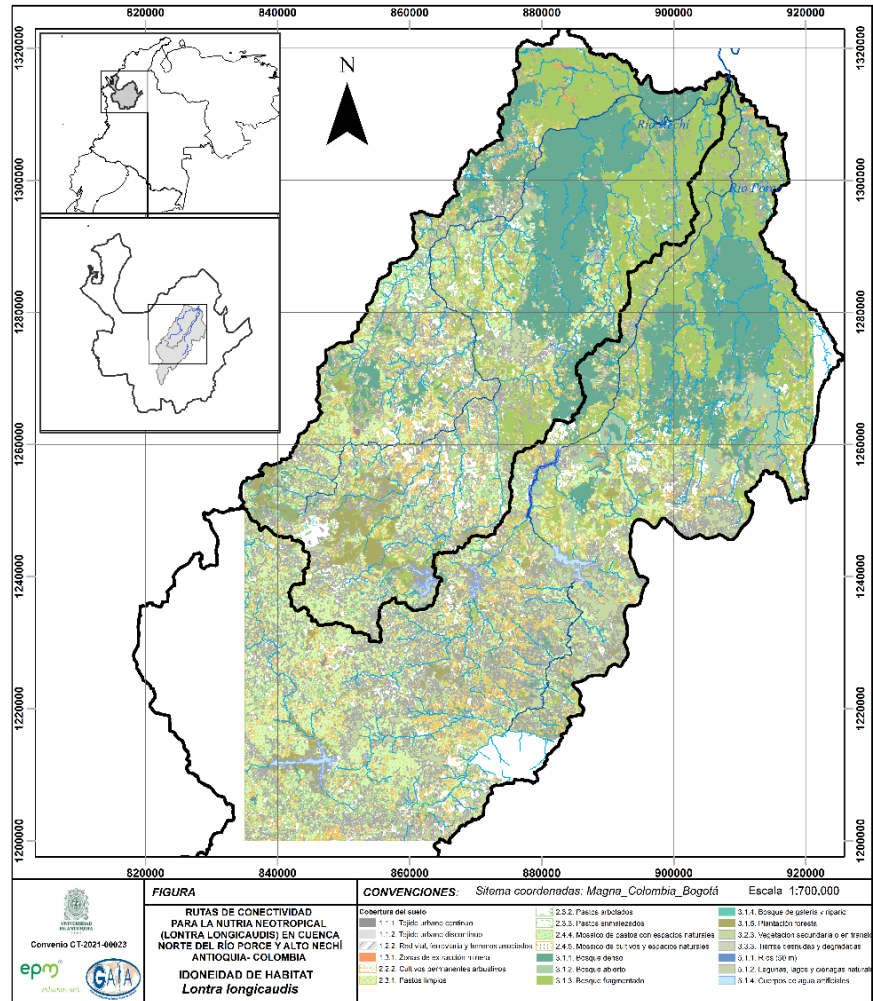
recuperación de la nutria neotropical. Esto toma relevancia considerando que las nutrias son mamíferos carismáticos y que se encuentran en la parte alta del nivel trófico en ecosistemas acuáticos por ende son un buen indicador y elementos sombrilla para la conservación de estos ecosistemas altamente amenazados en Latinoamérica y el mundo. Es por esto que este estudio busca determinar cuales son las rutas potenciales de dispersión de la nutria *Lontra longicaudis* a nivel regional en las cuencas del alto Nechí y norte del río Porce. Se espera que las rutas de menor costos estén asociadas a drenajes sencillos permanentes y buena cobertura boscosa, ya que estos han mostrado ser de gran importancia para la conectividad lateral (Carranza *et al.*, 2012; Loy *et al.*, 2009).

Metodología

Área de estudio

La zona de estudio corresponde a la cuenca hidrográfica del alto Nechí y la parte norte de la cuenca del río Porce, esta ventana tiene un área total de 663.000 ha (Fig 1). Está ubicada en las subregiones norte y nordeste del departamento de Antioquia, comprende los municipios de Barbosa, San Pedro de los Milagros, Don Matías, Entreríos, Santa Rosa De Osos, Yolombo, Gómez Plata, Carolina del Príncipe, Yarumal, Yolombó, Angostura, Campamento, Amalfi, Anorí y Guadalupe. Presenta una variación en altura entre los 300 y 2100 msnm. Comprende diferentes ríos como el Porce, Nechí, Guadalupe, Tinitá, Tenche, río Grande, parte del río Medellín, y otros sistemas fluviales más pequeños como el río San Juan, río Anorí, río Chocó, río Mata entre otros. Ambas cuencas hidrográficas desembocan finalmente en el río Cauca. En esta área predomina la presencia de pastos limpios con 200.000 ha aproximadamente, bosques fragmentados con 117.000 ha y bosques densos con 105.000 ha con sus mayores extensiones en los municipios de Anorí y Amalfi (Fig 1) (Cartoantioquia).

Figura 1. Área de estudio regional



Modelación de la idoneidad de hábitat

Mediante un análisis inferencial multicriterio se realizó un modelo de idoneidad de hábitat en el área de análisis con el fin de establecer las áreas núcleos o hábitat con condiciones que permitieran el establecimiento de poblaciones de la especie. Se utilizaron como variables y rangos aquellos requerimientos de hábitat reportados en la literatura para la nutria neotropical (*L. longicaudis*) y que se encontraran especializados o se pudieran cartografiar. En consideración a que las nutrias en general han sido bastante estudiadas y muchos de los factores que influyen en su biología y ecología son bien conocidos (Loy *et al.*, 2009), para determinar los requerimientos de hábitat se consultaron estudios ecológicos específicos para *L. longicaudis* y otras especies de nutrias (Graciano 2020; Gómez *et al.*, 2014; Loy *et al.*, 2009; Carranza *et al.*, 2012; Looy *et al.*, 2013; Pedroso *et al.*, 2004).

Los valores de idoneidad para cada rango asignado a las variables y el porcentaje de contribución de cada variable al modelo se asignaron de acuerdo con los aspectos ecológicos relevantes para la nutria neotropical determinados en los estudios ya mencionados. Se asignó una evaluación de idoneidad a cada rango de las variables, clasificados como idoneidad muy baja (1), idoneidad baja (2), idoneidad media (3), idoneidad alta (4) e idoneidad muy alta (5). Con esta clasificación y por medio de la herramienta *Weighted Overlay*, se introdujeron todas las capas y se le dio un peso dependiendo de la importancia para presencia de la especie (tabla 1).

Para el modelo se consideraron como variables definitorias del hábitat: tipo de cobertura, distancia a drenajes dobles, distancia a drenajes sencillos permanentes, distancia a drenajes sencillos intermitentes, pendiente y distancia a vías principales. Se le dio mayor peso al tipo de cobertura y la distancia a los drenajes dobles, esto porque las coberturas determinan la espesura de los bosques y el estado de conservación de las riberas y se puede afirmar que un hábitat óptimo para la nutria aumenta con buena presencia de bosque y disminuye con la presencia de coberturas antrópicas como asentamientos humanos y carreteras (Mayor *et al.*, 2010; Graciano 2020). Por otro lado, los drenajes dobles son de gran relevancia y forman parte fundamental en el hábitat de la nutria al ser semiacuática y basar su dieta en el consumo de peces, crustáceos y moluscos (Trujillo *et al.*, 2016). La disponibilidad de alimentos está dada en función de la presencia de agua todo el año, por ende, las distancias más cortas al drenaje pueden determinar la calidad del hábitat y disponibilidad de alimento para las nutrias (Holland *et al.*, 2016).

Todos los análisis se realizaron en el software ArcGIS 10.3.1 (ESRI). Las capas fueron obtenidas a partir de Cartoantioquia (IGAC, 2021) con una resolución de 1:25.000 y el modelo de elevación digital de la USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos, 2021). Todas las capas fueron proyectadas en el sistema de referencia de Magna Colombia-Bogotá. En la Tabla 1 se presentan las variables y rangos incluidos, con los valores de idoneidad asignados y la contribución de cada variable al modelo.

Tabla 1. Valores de idoneidad y peso para cada variable

VARIABLE	RANGOS	CRITERIOS DE IDONEIDAD	PESOS DE LAS VARIABLES
Tipo de cobertura	Bosque denso y bosque de galería	5	20%
	Vegetación secundaria, plantación forestal cuerpos de agua artificiales	4	
	Pastos arbolados y enmalezados, cultivos permanentes arbóreos, cultivos agroforestales	3	
	Tierras desnudas y degradadas, cultivos permanentes, cultivos transitorios, pastos limpios.	2	
	Tejido urbano, zonas industriales, red vial, obras hidráulicas, extracción minera.	1	
Distancia a drenajes dobles	<100m	5	35%
	100m - 200m	4	
	200m-400m	3	
	400m-800m	2	
	>800m	1	
Distancia a drenajes sencillos permanentes	<50m	5	20%
	50m-100m	4	
	100m-200m	3	
	200m-300m	2	
	>300m	1	
Distancia a drenajes sencillos intermitentes	<10m	5	5%
	10m-20m	4	
	20m-50m	3	
	50m-70m	2	
	>70m	1	
Distancia a vía principal	>400m	5	5%
	400m-300m	4	
	300m-200m	3	
	200m-100m	2	
	<100m	1	
Pendiente	0-11	5	15%
	11-22	4	
	22-31	3	
	31-40	2	
	>40	1	

Modelación de las rutas de dispersión

Dado que las cuencas hidrográficas pueden considerarse sistemas cerrados, la conectividad longitudinal puede evaluarse simplemente a través de la distribución de parches de hábitat adecuados, mientras que en la conectividad lateral se debe considerar la resistencia de la matriz

terrestre a la dispersión por nutrias entre cuencas (Loy *et al.*, 2009). Por esto, antes de modelar las rutas de dispersión se construyó un mapa de resistencia donde cada celda indicaba la resistencia de la matriz terrestre a los movimientos de las nutrias. Fueron usadas las mismas variables que en el paso anterior solo que en este caso se clasificó con valores de 0 a 100, donde los valores más bajos corresponden a características que menos resistencia ofrece para la dispersión de la nutria, y por el contrario, los valores más altos son aquellos que impiden en mayor medida el movimiento (tabla 2).

Se uso igualmente la herramienta *Weighted Overlay* para ponderar y construir la matriz, y a cada variable se le dio un valor como en el paso anterior (tabla 2). A los drenajes sencillos y al tipo de cobertura se le dio mayor peso, ya que al momento de dispersión estas variables juegan un papel muy importante (Carranza *et al.*, 2012).

Mediante la herramienta *Linkage Mapper* se pueden realizar análisis de conectividad de hábitats de vida silvestre en espacios naturales mediante corredores ecológicos_ (*Linkage Mapper*, 2016). Así que en este estudio se utilizó dicha herramienta para construir las rutas potenciales de la nutria. Como insumo se utilizaron, las áreas núcleo determinadas mediante el análisis de idoneidad de hábitat y la matriz de resistencia construida. En los corredores arrojados por la herramienta también se obtienen, las rutas de menor costo que conectan los núcleos. Esto permite identificar qué sitios presentan características que facilitan o impiden el movimiento de individuos entre áreas.

Tabla 2. Valores y pesos para variables en matriz de resistencia

VARIABLE	RANGOS	CRITERIOS DE RESISTENCIA	PESOS DE LAS VARIABLES
Tipo de cobertura	Tejido urbano continuo	100	27%
	Tejido urbano discontinuo	80	
	Zonas industriales o comerciales	100	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	60	
	Obras hidráulicas	90	
	Zonas de extracción minera	70	
	Otros cultivos transitorios	50	
	Cultivos permanentes herbáceos	70	
	Cultivos permanentes arbustivos	70	
	Cultivos permanentes arbóreos	70	
	Cultivos agroforestales	70	
	Pastos limpios	70	
	Pastos arbolados	60	

	Pastos enmalezados	40	
	Bosque denso	20	
	Bosque de galería y/o ripario	0	
	Plantación forestal	70	
	Vegetación secundaria o en transición	30	
	Tierras desnudas y degradadas	60	
	Ríos (50 m)	0	
	Cuerpos de agua artificiales	1	
Distancia a drenajes dobles	<20m	0	33%
	20-100	10	
	100m - 200m	30	
	200m-400m	60	
	400m-800m	70	
	>800m	80	
Distancia a drenajes sencillos permanentes	<10m	0	20%
	10-50	10	
	50m-100m	30	
	100m-200m	50	
	200m-300m	60	
	>300m	80	
Distancia a drenajes sencillos intermitentes	<10m	0	5%
	10m-20m	30	
	20m-50m	50	
	50m-70m	80	
	>70m	90	
	>400m	40	
Distancia a vías	400m-300m	50	3%
	300m-200m	60	
	200m-100m	80	
	<100m	90	
	0-11	0	
Pendiente	11-22	15	12%
	22-31	20	
	31-40	60	
	>40	90	

Resultados

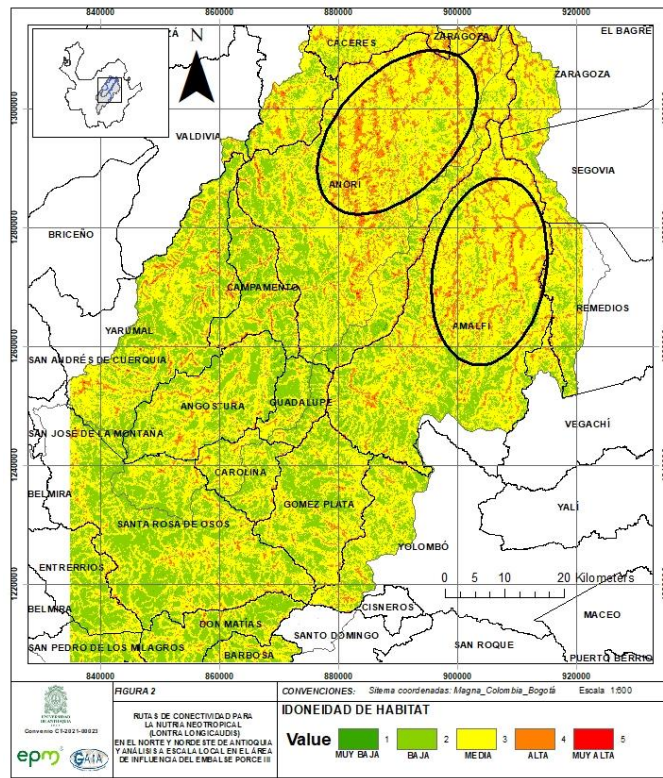
Modelación de la idoneidad de hábitat

Se encontró que del área total solo un 0.25% corresponde a un hábitat con idoneidad muy alta y un 10% representa una idoneidad alta, la mayor parte presenta una idoneidad media, 57%. Como se esperaba los hábitats más aptos se concentran cerca a los cursos de los ríos asociados a vegetación ribereña y bosques densos; mientras que pastos limpios, tejidos urbanos y vías

principales se asociaron con territorios poco aptos para la nutria. Los ríos Nechí, Porce, Grande, Guadalupe, Anorí, Mata, y Pocoró mostraron alta importancia en la nucleación de las áreas hábitat para la nutria en la región. Otras quebradas como Caracolí, San Juan, San José, La Clara, El Rosario, entre otras fueron identificadas por el modelo como de alta idoneidad para las nutrias y aportaron a la conformación de los núcleos. En la figura 2 se muestra el modelo de idoneidad de hábitat generado.

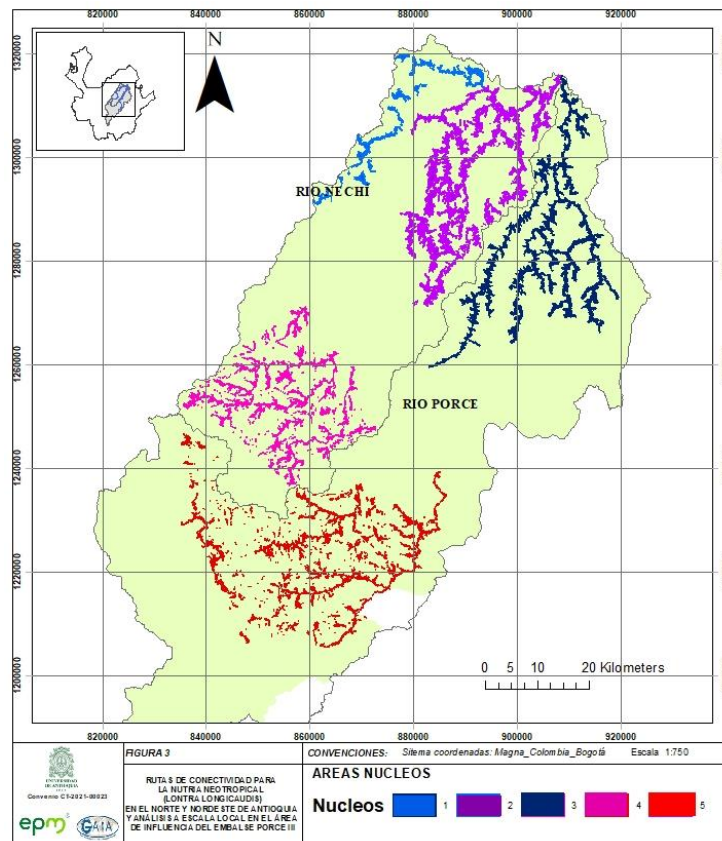
Se observa que la parte norte del área de estudio es la mayor idoneidad presenta, que corresponde a los municipios de Anorí y Amalfi, ya que está rodeada de una matriz de idoneidad media a altas, debido a la alta abundancia de ríos y presencia de bosques densos, riparios y de galería. En términos de idoneidad esta zona es de gran importancia para la nutria, que se conforma por los ríos Porce, Nechí, Anorí, Tenche, Mata, Pocoró, Tinitá y San Juan. Mientras que, en la parte más sur, correspondiente a los municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, Don Matías hay más áreas de idoneidad baja debido a que se presenta mayor fragmentación del paisaje por actividades pecuarias.

Figura 2. Modelo de idoneidad de hábitat.



A partir del modelo de idoneidad y los ríos más influyentes se obtuvieron cinco (5) áreas núcleo, las cuales representan áreas de muy alta idoneidad para la nutria neotropical (fig. 3). El área 1 (azul rey) corresponde al noroeste del área, las quebradas que lo componen son San Antonio, La Tinta y El Naranjo, el área 2 (morado) a diferentes ríos y quebradas como el Nechí, Tenche, San Juan, Anorí, San José entre otros; el área 3 (azul oscuro) comprende los ríos Porce, Mata, Tinitá, Pocoró y Caná; el área 4 (rosado) al río Nechí, San Julian, Concepción, parte del río Tenché, quebradas como el Rosario, Dolores, San Alejandro entre otras; por último, el área 5 (rojo) con los ríos Medellín, Porce y río Grande, y quebradas como Hojas Anchas, La Clara, Don Matías entre otros (fig. 3). Las cinco (5) áreas núcleo identificadas como idóneas responden a las formas que tiene los ríos que la conforman, son redes lineales y no polígonos anchos con mucha cobertura de tierra.

Figura 3. Áreas Núcleo.



Modelación de las rutas de dispersión

La conexión entre las áreas núcleos priorizadas en el mapa de idoneidad se sintetizaron en siete (7) conectores lineales las cuales son las rutas de menor costo entre las áreas núcleo, que representan rutas con las condiciones mejores y el menor costo en distancia y esfuerzo por donde la nutria podría moverse entre los hábitats nucleares (fig. 4). También están representados los corredores de baja resistencia al movimiento, que dan cuenta de las áreas de menor resistencia al movimiento de la nutria para toda el área de análisis y en que núcleos hay mayor conectividad.

Los corredores representan un 20% del área total (137.000 ha), en estos hay una alta concentración de drenajes dobles y sencillos permanentes. Otras quebradas que hacen parte importante de la conectividad son: quebrada San Antonio, La Tinta, san José, Chagualo, San Agustín, Cruces, San Bernardo, el Pescado y Aguacates. Los ríos principales que también mantiene la conectividad en toda el área son el río Nechí en la zona noroeste y sureste, y el río Porce en el noreste. 1436 ha corresponden a los drenajes dobles que hacen parte de los corredores, el resto hace parte de diferentes coberturas de tierra, principalmente son bosques fragmentados 23%, pastos limpios 22 %, vegetación secundaria o en transición 12%, pastos enmalezados 10%, mosaico de pastos con espacios naturales 8%, bosque denso 7%, y el resto son bosques de galería y ripiaros, bosques abiertos, pastos arbolados, plantaciones forestales y pastos arbolados.

Las distancias entre cada una de las rutas de menor costo se presentan en la tabla 3, en general, gran parte de estos corredores se dan por cursos de agua ya sea drenajes dobles o sencillos. Se observa que la ruta más larga es entre el núcleo 1 y el núcleo 4, y que entre los núcleos solo 2850 m aproximadamente se dan sobre tierra y corresponde a pastos enmalezados, vegetación secundaria o en transición, bosques fragmentados, pastos limpios y bosque de galerías y ripiaros; las principales quebradas y drenajes sencillos que constituyen este corredor son Piedras Blancas, Media Luna y Los Pomos.

Los enlaces entre los núcleos 1-2, 2-3 y 4-5, que son los más cortos, 0.07, 0.01 y 0.9 km respectivamente. Para 1-2 los 70 m corresponde a vegetación secundaria únicamente, para 2-3 la unión se da en la desembocadura del río Porce en el Nechí; y para 4-5 la conexión se da por las quebradas Agua Fría y Guanacas, y a pastos enmalezados, bosque denso y vegetación secundaria.

Por último, para la ruta entre los núcleos 2-4 solo 1,2 km se da sobre tierra, específicamente sobre pastos limpios, bosques abiertos y bosques fragmentados, y las quebradas La Chiquita, La

Soledad y el río Nechí conforman principalmente esta ruta. Para los núcleos 3-4 y 3-5 se comparte 12.5 km y esta ruta va por todo el curso del río Porce, específicamente por el embalse de Porce III, pocos tramos se dan sobre pastos enmalezados (800 m); y para ir hacia el núcleo 4 se da por el río Guadalupe y drenajes sencillos permanentes y el resto, 700 m, sobre pastos limpios o enmalezados. Y hacia el núcleo 5, sigue por el río Porce hasta llegar al muro del embalse Porce II, va por un costado, sigue la ruta por la represa y los últimos 2500 m la ruta sigue por bosque denso.

Las áreas por fuera de los corredores corresponden a tejidos urbanos, vías principales, tierras degradadas, zonas industriales y otros usos de tierra identificados como poco idóneos. Es decir, que este tipo de cobertura suponen una interrupción a la conectividad de la nutria ya que son las que mayor resistencia presenta al movimiento, a pesar de que la nutria muestra ser tolerable a cierto grado de perturbación y presencia humana.

Figura 4. Rutas de menor costo y corredores

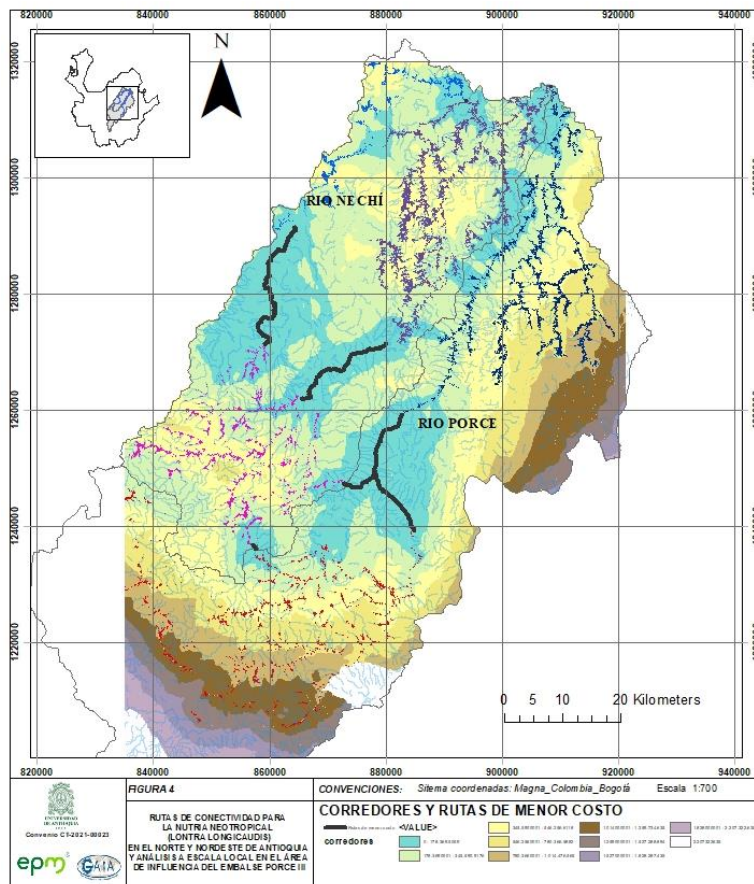


Tabla 3. Distancia entre áreas núcleos

Núcleos	Km ruta de menor costo	% distancia en tierra
1-2	0.07	100
1-4	32.14	8.7
2-4	22.2	5.4
3-2	0.01	0
3-4	20.6	7.8
3-5	26.7	9.3
4-5	0.9	84.4

Discusión

El modelo de idoneidad de hábitat permitió establecer cinco (5) áreas núcleos fundamentales en las que puede establecerse y/o ser colonizadas por poblaciones de la nutria neotropical. Estas áreas están caracterizadas por presentar buena cobertura de vegetación ribereña, alto porcentaje de bosques, pendiente baja, alejada de perturbaciones humanas, y la más importante, la presencia o cercanía a cuerpos de agua. Sin embargo, de las 663.000 ha del área de estudio, solo el 0.25%, aproximadamente 1691 ha presenta idoneidad muy alta, lo cual es un porcentaje muy bajo; la idoneidad alta si se presenta en un mayor porcentaje, 10.1% es decir, 66400 ha, la suma de estas dos corresponde por lo tanto a las áreas núcleo identificadas. Esta reducción en los hábitats idóneos para la nutria son consecuencia de las diferentes actividades antrópicas y al carácter lineal de los sistemas de río hábitat de alta especificidad para la especie.

Además, dentro de las dos cuencas consideradas en el estudio, los núcleos 2 y 3, específicamente los municipios de Anorí y Amalfi, en términos de idoneidad son los de mayor relevancia para albergar y permitir el establecimiento de poblaciones de nutrias, ya que tienen altos porcentajes de bosques densos, y alta abundancia de quebradas y ríos como el Porce, Nechí, Anorí, Tenche, Mata, Pocoró, Tinitá y San Juan. Mientras que las áreas 4 y 5, tienen una menor cantidad de zonas idóneas, debido a que, en los municipios de San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos, Don Matías las actividades pecuarias hacen parte principal de su economía, además que están más cercanas a zonas altamente pobladas como el Valle de Aburra.

Es importante destacar que la presencia de centrales hidroeléctricas como Porce II, Porce III, Riogrande, Caracolí, minicentral Pajarito y la proyección de la construcción de nuevos

embalses puede ser un factor importante en fragmentación del hábitat para la nutria, lo que puede significar una barrera para la dispersión y tener implicaciones negativas en la idoneidad y conectividad sobre un mismo núcleo y entre ellos, es decir, en tanto en la conectividad longitudinal y lateral.

Tener en cuenta estas variables es útil para evaluar la probabilidad de presencia o ausencia de nutrias en un área. Los drenajes dobles son fundamentales para la especie, su carácter semiacuático hace que dependan enormemente de los ecosistemas acuáticos, ya que su dieta está basada principalmente en el consumo de peces, crustáceos y moluscos (Trujillo *et al.*, 2016). La vegetación ribereña puede ser importante para las nutrias porque proporciona madrigueras de descanso y reproducción, proporciona cobertura durante los movimientos, mejora la filtración de contaminantes y promueve la productividad de los peces (Loy *et al.*, 2009).

La identificación de estos parches de hábitat adecuados, junto con el mapa de resistencia a la dispersión a través de la matriz del paisaje, proporcionan un marco para interpretar y predecir los movimientos de la nutria dentro del área de estudio. Entre estos cinco núcleos se generaron siete conectores que representan las rutas de menor costo y las cuales potencialmente está usando la nutria para mantener la conectividad en toda el área. Adicionalmente, se logró identificar otros corredores, los cuales igualmente tienen valores altos o medios de idoneidad, que pueden estar sirviendo como puentes de conexión entre los núcleos. Estos corredores cumplen con alta presencia de drenajes dobles y sencillos permanentes y coberturas de la tierra favorables o medianamente aptos para la nutria.

Estas rutas y corredores obtenidos muestran, como se esperaba, que tanto los drenajes sencillos como coberturas de bosque fragmentado, bosques ripiario, bosque denso, vegetación secundaria y pastos enmalezados juegan un papel importante en la conectividad lateral, ya que son los que menos resistencia presentan para el movimiento de la nutria (Carranza *et al.*, 2012; Pedroso *et al.*, 2014). Adicionalmente, los drenajes dobles que son indispensables para mantener la conexión en toda el área, en este sentido el río Nechí y el río Porce, podrían jugar un papel estratégico en la supervivencia y expansión de la nutria a áreas circundantes, y en la unión de sus áreas de distribución para la región norte y nordeste del departamento de Antioquia y probablemente con otras regiones como el bajo cauca. En menor medida, pero igualmente importantes en la conectividad se destacan los ríos San Juan, Guadalupe, Anorí y Tenche.

Además de los corredores, se observa alrededor de ellos grandes zonas que presentan igualmente baja resistencia, permitiendo que toda el área de estudio se encuentre muy bien conectada y todos los núcleos presenten buenos puntos de unión, hay diversos corredores que puede estar usando la nutria para su desplazamiento y no hay rupturas dejando núcleos completamente aislados. Esto se debe a la gran riqueza hídrica del área, ya que mayormente la conexión entre los núcleos se da por los drenajes de agua y pocos tramos por coberturas de tierra.

Particularmente entre el núcleo 2 y 3, en la zona del río San Juan y Porce se tiene una alta conexión en diferentes puntos, debido a la abundancia de drenajes, en la que las quebradas permanentes están sirviendo como puente de unión entre estas dos cuencas. La baja calidad del agua que presenta el río Porce, debido a la alta contaminación del río Medellín (Carbajal 2009), y el hecho de que se tenga en cuenta no solo como un área estratégica sino como un factor fundamental en el desplazamiento de la nutria, sugiere que debido a la alta conectividad que presenta con los sistemas fluviales aledaños y la gran riqueza hídrica que posee, ha permitido que las poblaciones de la especie permanezcan allí y no hayan desaparecido de esta zona.

La contaminación del río Porce, la fuerte explotación minera tanto en el Porce como en el río Nechí, lleva a que la nutria ocupe hábitats subóptimos, a pesar de que ambas cuencas son identificadas como las más importantes tanto para conectividad como para que se establezca la especie, esto muestra a su vez la alta capacidad de la nutria de tolerar estas perturbaciones humanas, y la importancia de la abundancia de ríos y quebradas y la alta abundancia de alimento para mitigar este impacto y la nutria pueda sobrevivir en estos espacios.

Los tejidos urbanos continuos, vías principales, terrenos usados para la ganadería y agricultura por el contrario muestran brechas en la conectividad, ya que son las que mayor resistencia presenta al movimiento y constituyen en si un hábitat de idoneidad baja para la nutria. El paisaje heterogéneo interrumpe la conectividad, por lo cual se deben tomar medidas de conservación para evitar la ampliación de terrenos actividades que destruyan bosque, protegiendo los fragmentos de bosque con el fin de mejorar la conectividad estructural (Alonso *et al.*, 2017).

Los bosques fragmentados y los pastos limpios representan el 45% de las coberturas de los corredores, y en menor porcentaje bosques densos y de galería, 7% y 1% respectivamente. El hecho de que se tenga bajo porcentaje de bosques en los corredores no significa que estos no sean importantes, sino más bien, que esto habla de la alta intervención humana en la zona. En toda el área de estudio los bosques fragmentados y los pastos limpios suman más de 317.000 hectáreas,

obligando por consiguiente a la nutria atravesar estos espacios que no son exactamente los más idóneos para su dispersión. Sin embargo, este resultado muestra, al igual que otros estudios, que la nutria tienen alta plasticidad para utilizar una amplia variedad de hábitats, incluso ecosistemas alterados por perturbaciones humana (Gómez *et al.*, 2014; Pedroso *et al.*, 2014; Contreras 2002 como cito Trujillo *et al.*, 2016).

En el estudio de Gómez *et al.*, 2014, se aplicaron modelos de distribución de especies para construir un mapa de idoneidades de hábitat y así identificar los factores más influyentes en la presencia de la nutria neotropical en el Bajo Delta del Río Paraná. Los resultados muestran que la idoneidad del hábitat fue mayor en las zonas con diques construidos para la silvicultura y baja en las zonas con asentamientos humanos, es decir que la nutria puede ser tolerante a cierto grado de perturbación, como cultivos arborizados, pastos enmalezados o en algunas ocasiones pastos abiertos y limpios; por lo que en ciertas circunstancias podría usar estos terrenos para dispersarse y mantener la conectividad. Esta tolerancia le da grandes ventajas a la nutria, sobre todo si habita áreas con alta fragmentación del paisaje, ya que les permite a las poblaciones no quedar completamente aisladas, sino que se dé un flujo entre los individuos a través de estos fragmentos de tierra modificados por el hombre.

Mantener la conectividad longitudinal, es relativamente más sencillo, porque la composición dentro de una misma cuenca fluvial no es modificable, mientras que la conectividad lateral podría mejorarse en aquellas porciones donde los factores antropogénicos son responsables de la baja calidad del hábitat, ya que la perturbación humana es particularmente importante en la limitación de la distribución de las nutrias (Carranza *et al.*, 2012). Es por esto que lo más importante para permitir la conectividad del paisaje, es que se conserven los bosques de galería y ríparios, bosques densos y vegetaciones secundarias.

Además, con la identificación de los ecosistemas estratégicos para las nutrias, de las áreas de mayor incidencia en las que se pueden desarrollar (núcleos de alta idoneidad) y de los sitios más importantes para las conexiones naturales; estas áreas pueden ser gestionadas y ser planificadas de mejor manera para permitir la conectividad del paisaje, que beneficie no solo de la nutria si no todas las especies en el área. Por medio de prácticas agropecuarias sostenibles, que incremente la cobertura boscosa en áreas ganadera y agrícolas y disminuir la contaminación de los ecosistemas acuáticos (Trujillo *et al.*, 2016).

Este análisis usado ofrece en concreto los segmentos o corredores vitales que puede estar usando la especie, que incluye tanto los cursos del río como la matriz del paisaje inmediata. Dado que la presencia de nutrias en una cuenca fluvial es índice de la buena calidad de la red fluvial, la conectividad lateral para las nutrias podría utilizarse como un índice eficiente de calidad de todo el paisaje (Carranza *et al.*, 2012; Loy *et al.*, 2009). El mantenimiento de una buena calidad del hábitat dentro de las cuencas fluviales y en la matriz territorial es una prioridad para garantizar la supervivencia y el flujo de genes de la nutria neotropical.

Una de las limitantes del trabajo es que no se evaluó el flujo genético, sin embargo, el hecho de tomar los factores que más influyen en la dispersión de la nutria da indicios de la conectividad funcional. Además, no se consideró el impacto de las centrales hidroeléctricas los cuales pueden interrumpir la conectividad y cambiar las rutas de menor costo planteadas. Por último, solo se tuvieron en cuenta variables del paisaje cartografiadas, no se tuvo en cuenta abundancia y calidad del recurso pesquero para la nutria, competencia intra e interespecíficas las cuales podrían afectar la distribución y dispersión de la nutria, esto debido a la dificultad de cartografiar estas variables biológicas.

Para estudios futuros se sugiere hacer trabajos de campo donde no solo se tenga en cuenta cartográficamente zonas de alta idoneidad, sino también que se evalué desde la parte genética los movimientos de la nutria, que además tengan en cuenta datos de movimiento y que se evalué el impacto de las hidroeléctricas, para así identificar directamente los corredores de vida silvestre en función del comportamiento de los animales (Scharf *et al.*, 2018).

En Colombia no hay reportes en la literatura direccionados a estudios relacionados con conectividad estructural y lateral de nutrias neotropical. La integración de mapas de idoneidad del hábitat y de resistencia ha demostrado ser una herramienta de gran valor para la planificación del manejo a escala del paisaje (Loy *et al.*, 2009; Carranza *et al.*, 2012; Looy *et al.*, 2013; Gomez *et al.*, 2014), y pueden ser utilizada para tomar decisiones de manejo, ya que permite establecer la estructura ecológica principal en un área intervenida generando insumos que pueden ser usados en pro de la conservación de la nutria *L. longicaudis* priorizando cuales son las rutas más importantes para la dispersión y los corredores que puede estar usando. Se propone especialmente conservar los bosques ribereños alrededor de los drenajes dobles y sencillos, ya que esta combinación constituye los hábitats idóneos para la especie y a su vez presentan menor resistencia para el libre

movimiento a largas distancias de la nutria y así poder mantener la conectividad entre diferentes sistemas fluviales.

Referencias

- Alonso, A., Finegan, B., Brenes, C. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia*, 39(1), 143-151. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324>
- Carranza, M., Saura, S., D'alessandro, E. (2012). Connectivity providers for semi-aquatic vertebrates: the case of the endangered otter in Italy. *Landscape Ecology*, 27(2), 281-290. Springer. DOI: 10.1007/s10980-011-9682-3
- Carvajal, E. (2009). Impacto ambiental y social del vertimiento de residuos sólidos y escombros sobre la calidad del río Medellín y algunos de sus afluentes. *El Ágora USB*, 9(1), 225–265. <https://doi.org/10.21500/16578031.1410>
- Graciano, S. (2020). Factores de hábitat asociados a la presencia de la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) en el embalse Porce III, Antioquia, Colombia. [Tesis de pregrado]. [Medellín]: Universidad de Antioquia.
- Gómez, J., Tunez, J., Fracassi, N., Cassini, M. (2014). Habitat suitability and anthropogenic correlates of Neotropical River otter (*Lontra longicaudis*) distribution. *Journal of Mammalogy*, 95(4), 824–833. DOI: 10.1644/13-MAMM-A-265
- Hemmingmoore, H., Aronsson, M., Åkesson, M., Persson, J., Andrén, H. (2020). Evaluating habitat suitability and connectivity for a recolonizing large carnivore. *Biological Conservation*, 242(108352). <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2019.108352>
- Holland, A., Merwe, R. (2016). Do River Otters Conform to Habitat Suitability Assessments? *Journal of Contemporary Water Research Education*, 157, 3-13.
- Linkage Mapper* (2016) Recuperado de: <https://linkagemapper.org/>
- Liu, F., McShea, W., Li, D. (2017). Correlating habitat suitability with landscape connectivity: A case study of Sichuan golden monkey in China. *Ecological Modelling*, 353, 37-43.
- Looy, K., Piffadya, J., Cavillona, C., Tormos, T., Landryc, P., Souchon, Y. (2013). Integrated modelling of functional and structural connectivity of river corridors for European otter recovery. *Ecological Modelling* 273, 228–235. ScienceDirect.

- Loy, A., Carranza, M., Cianfrani, C., D'Alessandro, E., Bonesi, I., Di Marzio, P., Minotti, M., Reggiani, G. (2009). Otter *Lutra lutra* population expansion: assessing habitat suitability and connectivity in southern Italy. *Folia Zoologica*, 58(3), 309–326.
- Pedroso, N., Santos, M., Vasconcelos, L. (2004). O uso de grandes barragens pela Lontra no Alentejo. *Revista biol*, 22, 211-224.
- Pedroso, N., Marques, T., Santos, M., (2014). The response of otters to environmental changes imposed by the construction of large dams. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 24, 66–80. 10.1002/aqc.2379.
- Rodríguez, A., Escalona, G., Plasencia, A., Iñigo, E., Ruiz, L. (2017). Distribución potencial y conectividad del paisaje: criterios para reevaluar el grado de amenaza de *Campylorhynchus yucatanicus* (Aves: Troglodytidae). *Biología tropical*, 65(4), 1554-1568. ISSN-0034-7744
- Saura, S., Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33, 523-537. doi: 10.1111/j.1600-0587.2009.05760.x
- Scharf, A., Belant, J., Beyer, D., Wikelski, M., Saf, K. (2018). Habitat suitability does not capture the essence of animal-defined corridors. *Movement Ecology* 6:18. <https://doi.org/10.1186/s40462-018-0136-2>
- Taylor, P. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.

Artículo 2. Idoneidad de habitat para la nutria neotropical *Lontra Longicaudis* en el área de influencia del embalse Porce III con inferencias en la conectividad local y regional

Introducción

Las nutrias ocupan diversos tipos de hábitat acuáticos como ríos, lagos, lagunas, ciénagas y sistemas lénticos artificiales (Rheingantz *et al.*, 2017). Al ser un mamífero semiacuático la disponibilidad y calidad del agua representa un factor ecológico principal, por tanto, las áreas más idóneas para la especie están compuesta por una estrecha franja de un ecosistema acuático y ribereño, es decir buena cobertura vegetal a las orillas del río, las cueles son usadas como refugio o incluso para dispersarse (Loy *et al.*, 2009; Trujillo *et al.*, 2016). Arroyos más pequeños constituyen corredores de movimiento entre hábitats, o son en sí mismos hábitats adecuados (Pedroso *et al.*, 2014). Por el contrario, una alta densidad humana, es considerada como una variable que puede afectar negativamente la presencia de nutrias, y constituyen hábitats poco idóneos (Loy *et al.*, 2009; Mateo *et al.*, 2011).

Los modelos de idoneidad de hábitat han permitido encontrar relaciones entre las variables ambientales y la presencia o ausencia de especies (Lacerda *et al.*, 2020), de esta manera mejoran el conocimiento de aspectos ecológicos, como la distribución en el territorio y la caracterización del hábitat, entre otros. Esta información en los últimos años ha llevado a grandes avances en temas de conservación y manejo de especies, ecología y de manera importante en conectividad del paisaje, ya que la conectividad es la medida en que el paisaje promueve el movimiento a través de parches de hábitat adecuados (Saura *et al.*, 2010; Lacerda *et al.*, 2020).

La construcción de centrales hidroeléctricas hace parte de una de las principales amenazas para la nutria neotropical en Colombia (Trujillo *et al.*, 2016). Los impactos que presentan estas infraestructuras a corto plazo son: aumento en la accesibilidad y presencia humana; movimiento de maquinaria pesada; deforestación con pérdida y fragmentación del hábitat; cambio de sistema lótico a léntico; y cambios en el uso de la tierra adyacente al embalse; todo esto promueve la ocupación de hábitats subóptimos para la nutria. (Santos *et al.*, 2007; Pedroso *et al.*, 2004, Calaça *et al.*, 2015). El estudio de Pedroso *et al.*, 2004, tenía como objetivo evaluar el uso de 12 embalses de Alentejo, Portugal por parte de la nutria europea (*Lutra lutra*); encontraron que en todos los embalses hay aprovechamiento por parte de la nutria, debido a que presentan abundancia de vegetación en las riberas, alta disponibilidad de presas y proximidad de sistemas lóticos con buenas

condiciones de refugio. Sin embargo, también concluye que el hecho de que la nutria utilice grandes represas no es un indicio de que la implementación de estas estructuras sea beneficiosa para la especie, ya que el escenario previo a la construcción de los embalses debería ser más favorable para la nutria que la situación actual, además porque el muro supone una interrupción del cauce del río y, por consiguiente, al libre movimiento de individuos de la especie.

En la construcción de la represa Porce III, entre los años 2004 y 2011 con el objetivo principal de generar energía hidroeléctrica, se levantó un muro de 151 m de alto que supone una interrupción del gradiente ecológico y balance hídrico del río Porce, pérdida y fragmentación del hábitat y una barrera al movimiento de las nutrias aguas arriba y aguas abajo del embalse, lo que afectaría negativamente el flujo de la población (Quadros 2012), sin embargo, el área de influencia del embalse posee una gran riqueza hídrica la cual puede estar sirviendo como punto de entrada y salida de individuos o como hábitats idóneos para el establecimiento de individuos. Estudios previos realizados en Porce III, muestran que las variables más significativas para la presencia de la nutria están principalmente dadas por el porcentaje de bosque denso, alejado de territorios agrícolas, la distancia tanto a ríos como a vías y densidad de drenajes sencillo (Graciano 2020).

Debido a lo mencionado anteriormente, en el presente estudio se quiere observar en el área de influencia del embalse Porce III, cuáles son las áreas que presentan mayor idoneidad y a su vez, establecer las potenciales rutas de dispersión de la nutria para evadir el muro de la represa. El conocimiento de aspectos ecológicos, como la distribución en el territorio, la caracterización del hábitat y las potenciales rutas de conectividad de la nutria neotropical *L. longicaudis* en un área modificada como resultado de la construcción del embalse, permitirá observar los lugares que cumplen con las condiciones propicias para el establecimiento de la nutria, el efecto de diferentes variables sobre la idoneidad de hábitat y dará elementos para aplicar posibles medidas que minimicen los impactos de los proyectos hidroeléctricos sobre la nutria neotropical.

Métodos

Área de estudio

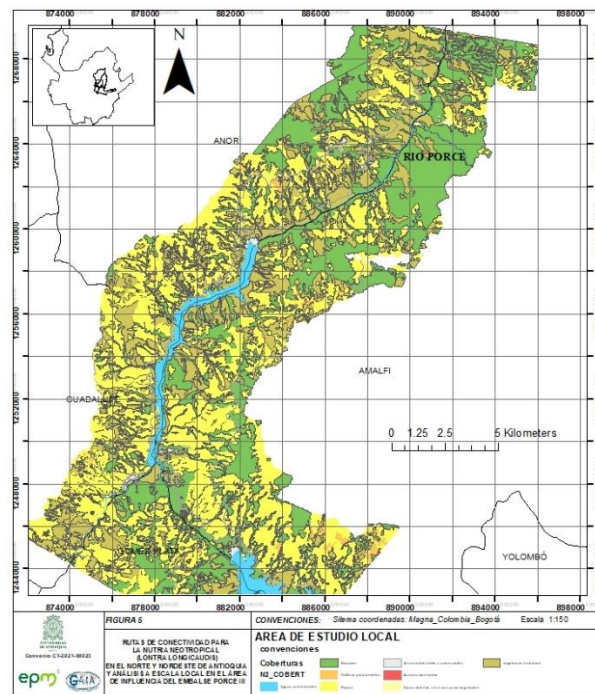
La zona de estudio comprende el área de influencia del embalse Porce III, este embalse se encuentra en el nordeste del departamento de Antioquia, dentro de los municipios de Amalfi, Anorí,

Gómez Plata y Guadalupe. La altura del muro de presa es de 151m. Presenta una altitud entre 318 y 1800 msnm, con temperaturas entre 13 y 26°C, humedad relativa entre 80% y 84% y precipitación promedio de 2400 mm/año (EPM UdeA 2019).

Sobre esta área se tomó un polígono de la zona de influencia del embalse Porce III (Fig. 5), la cual abarca un área de 27.000 ha aproximadamente, de la que se contaba con información cartográfica de la zona. Toda esta información fue suministrada por EPM.

Esta zona presenta diferentes coberturas de tierra en su mayoría bosques y áreas seminaturales con un 59.75%, territorios agrícolas un 35.7%, superficies de agua y embalse 3.8%, y territorios artificializados un 0.72%. Los bosques de galería y ripiaros asociado a los ambientes acuáticos corresponden al 8,35% (EPM 2017, como cito EPM UdeA 2019).

Figura 5. Área de estudio local



Modelo de idoneidad de hábitat

Sobre la nutria neotropical se han realizado varios estudios modelos de idoneidad del hábitat que han determinado las variables que más influyen en su ocupación (Santiago 2013; Gomez *et al.*,

2014; Mayor *et al.*, 2010; Graciano 2020; Looy *et al.*, 2013; Pedroso *et al.*, 2004; Pedrosos *et al.*, 2014). Las cuales fueron: tipos de cobertura, distancia a drenajes dobles, distancia a drenajes sencillos permanentes, distancia a drenajes sencillos intermitentes, densidad de drenajes sencillos intermitentes, altura, pendiente y distancia a vías principales.

La principal razón de usar estas variables fue porque el estudio realizado por Graciano en el 2020 mostró que los principales factores que influían en la presencia de la nutria neotropical en el embalse de Porce III y los ríos adyacentes fueron: la distancia a vías, densidad de drenajes, porcentaje de bosque denso y vegetación secundaria alta, porcentaje y presencia de territorios agrícolas.

Para construcción del modelo de idoneidad de hábitat para la nutria neotropical se usó el software ArcGIS 10.3.1 (ersi). Primero cada capa fue reclasificada por medio de la herramienta *Reclass*, se establecieron unos rangos en cada una y a estos se les dio un valor en una escala de 1-5 donde: 1 se usó para describir un hábitat con idoneidad muy baja, 2 idoneidad baja, 3 idoneidad media, 4 idoneidad alta, y por último 5 como un entorno con idoneidad muy alta para la nutria (tabla 3). Posteriormente con la herramienta *Weighted Overlay*, se introdujeron todas las capas e igualmente se le asignó un porcentaje dependiendo de la importancia para presencia de la especie (tabla 3).

Tabla 4. Valores de idoneidad y peso para cada variable

VARIABLE	RANGOS	CRITERIOS DE IDONEIDAD	PESOS DE LAS VARIABLES
Tipo de cobertura	Bosque denso y bosque de galería	5	20%
	Vegetación secundaria, plantación forestal cuerpos de agua artificiales	4	
	Pastos arbolados y enmalezados, cultivos permanentes arbóreos, cultivos agroforestales	3	
	Tierras desnudas y degradadas, cultivos permanentes, cultivos transitorios, pastos limpios	2	
	Tejido urbano, zonas industriales, red vial, obras hidráulicas, extracción minera.	1	
Distancia a drenajes dobles	<100m	5	30%
	100m - 200m	4	
	200m-400m	3	
	400m-800m	2	
	>800m	1	
Distancia a drenajes sencillos permanentes	<50m	5	15%
	50m-100m	4	
	100m-200m	3	
	200m-300m	2	
	>300m	1	

Distancia a drenajes sencillos intermitentes	<10m	5	5%
	10m-20m	4	
	20m-50m	3	
	50m-70m	2	
	>70m	1	
Densidad de drenajes sencillos intermitentes	0-2	1	8%
	2-5	2	
	5-8	3	
	8-11	4	
	11-13	5	
Distancia a vía principal	>400m	5	5%
	400m-300m	4	
	300m-200m	3	
	200m-100m	2	
	<100m	1	
Pendiente	0-11	5	15%
	11-22	4	
	22-31	3	
	31-40	2	
	>40	1	
Altura	300-800	5	2%
	800-1000	4	
	1000-1300	3	
	1300-1600	2	
	>1600	1	

Verificación de presencia de la nutria en el área de estudio

Se realizaron cuatro campañas de campo de ocho días cada una durante los meses de octubre a diciembre del año 2021. De acuerdo con las características de cada sector de muestreo se hicieron recorridos a pie y/o en lancha en búsqueda de rastros fueran marcas odoríferas (heces y moco) o avistamiento de la especie. En cada recorrido se ubicaron, colectaron y georreferenciaron con GPS todos los rastros positivos de presencia de la nutria.

Para seleccionar los lugares a ser muestreados sobre el área de estudio se construyó cuadrículas de 1x1 Km, de las cuales se seleccionaron aleatoriamente 110 celdas para ser muestreadas, sin embargo debido a que en la zona predomina un relieve montañoso con una geomorfología desarrollada en un cañón profundo en “V” (EPM UdeA 2019), algunas de la cuadrículas eran imposibles de muestrear, por lo que final mente se realizó el muestreo sobre 30 celdas aproximadamente las cuales eran accesibles y tenían algún drenaje de agua, fuera doble o sencillo permanente.

Para el trabajo de campo se siguieron principalmente los transectos ya establecidos por el proyecto *Estrategia de Conservación de la nutria neotropical (Lontra longicaudis) en el área de*

influencia del embalse Porce III el cual abarca toda el área de influencia del embalse. Este diseño de muestreo sigue la metodología estándar de *Otter Specialist Group*, que sugiere el recorrido en transectos a través de la orilla de los ríos, y para el muestreo en el embalse se hicieron algunos ajustes sugeridos por Pedroso y Santos (2009). Durante los recorridos se buscaron rastro de evidencia de la presencia de la especie principalmente marcas odoríferas (EPM UdeA 2019).

Modelo de las potenciales rutas de conectividad antes y después del embalse

Inicialmente se construyó una matriz de resistencia, esto con el objetivo de observar en el área de estudio cuales celdas son las que ofrecen mayor o menor resistencia al movimiento. Se usó siete (7) variables descritas en la tabla 3, excepto la altura, con la herramienta *Reclass*, así se establecieron rangos de valores de resistencia para cada variable que iban de 0 a 100, en este caso 0 corresponde a elementos del paisaje que ofrezcan menor resistencia como ríos o bosques, mientras que 100 se usó para los que ofrecen mayor resistencia como lo son tejidos urbanos, obras hidráulicas entre otros (Tabla 4). Con herramienta *Weighted Overlay* se introdujo las dándole un peso dependiendo de su importancia para el desplazamiento de la especie (Loy *et al.*, 2009, Carranza *et al.*, 2012; Looy *et al.*, 2013).

Luego, se seleccionó un punto de partida inicial aguas arriba del muro y un punto de llegada ubicado después del muro del embalse. El punto de inicio se escogió cerca al muro de Porce III debido que en este punto es donde se encuentra una gran barrera para el libre movimiento y en este punto la nutria debe decidir hacia donde moverse. Ambos puntos, tanto el de inicio como llegada, son lugares donde se validó la presencia de la especie.

Con la herramienta *Cost distance* se obtuvo los diferentes costos de desplazamiento desde el punto de inicio a todas las celdas del ráster de la matriz de resistencia. Luego por medio de la herramienta *Cost back link* se obtuvo desde el punto de inicio los costos de dirección, es decir las resistencias a hacia todas las direcciones. Por último, con la herramienta *Cost path* se construyeron las rutas, con los ráster obtenidos en los pasos anteriores y los puntos de llegadas, y así se obtuvieron todas las rutas de menor costo desde este punto de inicio hacia el punto de llegada. La razón de usar esta última herramienta fue porque el análisis se hizo en un solo núcleo y se quería mirar la ruta de menor costo que usa la nutria para dar continuidad a la conectividad longitudinal y no establecer corredores.

Tabla 5. Valores y pesos para variables en matriz de resistencia

VARIABLE	RANGOS	CRITERIOS DE IDONEIDAD	PESOS DE LAS VARIABLES
Tipo de cobertura	Tejido urbano continuo	100	25%
	Tejido urbano discontinuo	80	
	Zonas industriales o comerciales	100	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	60	
	Obras hidráulicas	90	
	Zonas de extracción minera	70	
	Otros cultivos transitorios	50	
	Cultivos permanentes herbáceos	70	
	Cultivos permanentes arbustivos	70	
	Cultivos permanentes arbóreos	70	
	Cultivos agroforestales	70	
	Pastos limpios	70	
	Pastos arbolados	60	
	Pastos enmalezados	40	
	Bosque denso	20	
	Bosque de galería y/o ripario	0	
	Plantación forestal	70	
	Vegetación secundaria o en transición	30	
	Tierras desnudas y degradadas	60	
	Ríos (50 m)	0	
Cuerpos de agua artificiales	1		
Distancia a drenajes dobles	<20m	0	30%
	20-100	10	
	100m - 200m	30	
	200m-400m	60	
	400m-800m	70	
	>800m	80	
Distancia a drenajes sencillos permanentes	<10m	0	20%
	10-50	10	
	50m-100m	30	
	100m-200m	50	
	200m-300m	60	
>300m	80		
Distancia a drenajes sencillos intermitentes	<10m	0	5%
	10m-20m	30	
	20m-50m	50	
	50m-70m	80	
	>70m	90	
Densidad de drenajes sencillos intermitentes	0-2	95	5%
	2-5	70	
	5-8	50	
	8-11	40	
	11-13	20	
Distancia a vía principal	>400m	40	3%
	400m-300m	50	
	300m-200m	60	
	200m-100m	80	
	<100m	90	
Pendiente	0-11	0	12%
	11-22	15	
	22-31	20	
	31-40	60	
	>40	90	

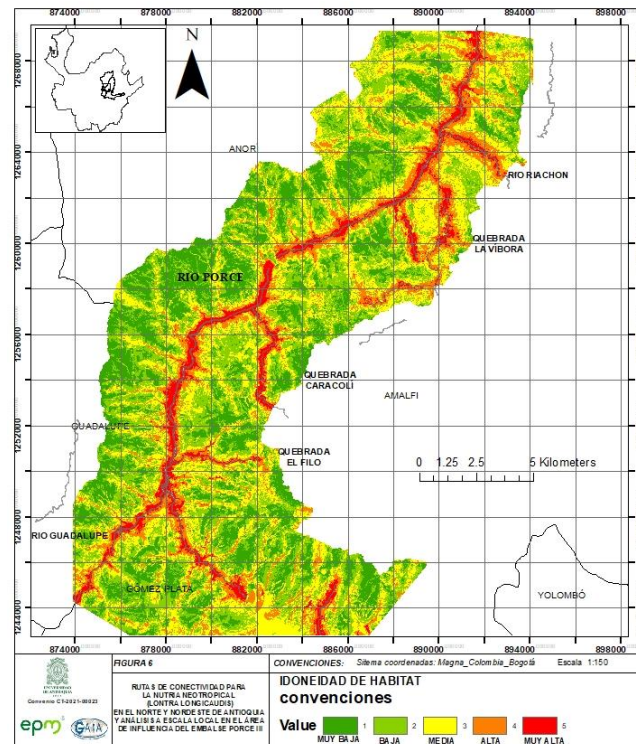
Resultados

Modelo de idoneidad de hábitat

Se observa en el modelo de idoneidad (Fig. 6), que la combinación de las diferentes variables son las que constituyen un hábitat propicio para la nutria neotropical, y cada una aporta de diferente manera a esta idoneidad. Las variables con mayor explicación biológica son la cercanía a los drenajes, ya sean dobles o sencillos, al igual que los bosques de galería y densos. Las áreas que tiene valores más bajos de idoneidad son aquellas más alejadas de los drenajes de agua y donde hay mayor presencia y actividades humanas.

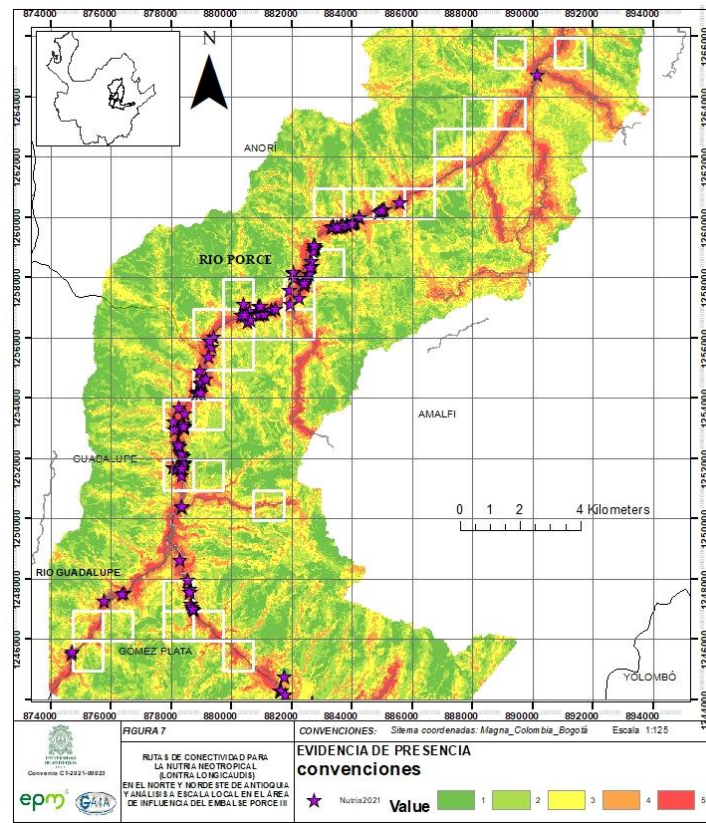
El área de lugares que presentan una idoneidad muy alta a alta fue de 1700 ha (6.2%) a 3870 ha (13.8%) respectivamente. Sin embargo, se evidenció una gran área que presenta idoneidad muy baja de 5800 ha (21.2%), y otra, que constituye a la mayor parte que representa un área de idoneidad baja con 8470 ha (30.8%). Los drenajes dobles más importantes son el río Porce que es el sistema fluvial principal del área, pero también el río Guadalupe y Riachon y las quebradas Caracolí, El Filo y La Víbora. En total los drenajes dobles que presentan idoneidad muy alta corresponden a 94 ha y el embalse con 400 ha.

Los hábitats de idoneidad muy alta están compuestos principalmente por: 617 ha de bosque denso, 298 ha de vegetación secundaria y 176 ha de bosque de galería, en menor medida pastos limpios, enmalezados o arbolados y plantaciones forestales (112 ha).

Figura 5. Modelo de idoneidad de hábitat local**Verificación de presencia de la nutria en el área de estudio**

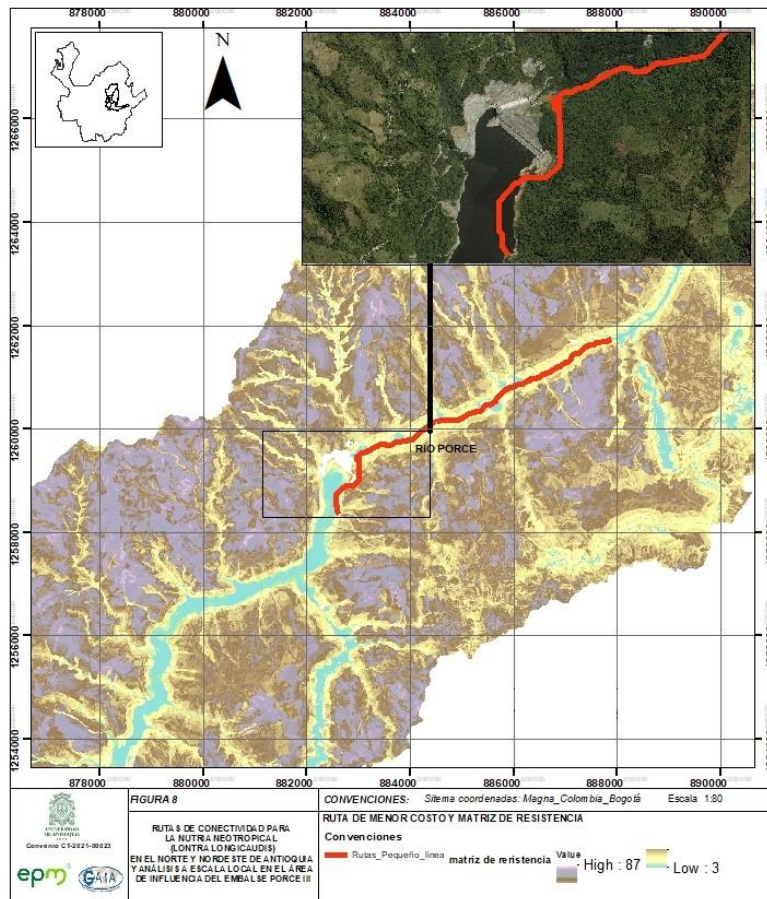
En total durante las salidas de campo se muestrearon aproximadamente 30 sitios (Fig. 7), se obtuvieron 314 registros de evidencia de presencia de la nutria, las cuales corresponden principalmente a marcas odoríferas, que fueron encontradas principalmente sobre rocas a las orillas del río Porce o drenajes sencillos permanentes, y solo 3 correspondieron a avistamiento, que fueron directamente en el embalse Porce III. Todos los registros positivos de evidencia de la especie están dentro de lugares con idoneidad muy alta o alta (Fig. 7) con mayor número de evidencia de presencia en el embalse al lado derecho lejos de la carretera y de pastos limpios.

Figura 6. Idoneidad con evidencia de presencia



Modelo de rutas de conectividad

En la figura 8 se observa el mapa de resistencia, con la ruta de menor costo que potencialmente está usando la nutria para dispersarse evitando el muro de Porce III, la cual está ubicada a la margen derecha del muro, la cual presenta mayor presencia de bosque de galería y ripario, y está más alejada de la vía principal.

Figura 7. Mapa de resistencia con ruta de menor costo

Discusión

Modelo de idoneidad

El modelo de idoneidad propuesto muestra que un 20% corresponde a un hábitat óptimo (idoneidad 4 y 5) para la nutria neotropical, es decir, en el área hay 5570 ha en las que confluyen las condiciones necesarias para el establecimiento de la nutria. Estas áreas aptas para el establecimiento o colonización por parte de la nutria neotropical sugieren que la cobertura de vegetación ribereña, cercanía a cuerpos de agua, la pendiente del banco, la altitud y la perturbación humana (densidad humana y uso de la tierra fuera de la ribera) pueden ser factores útiles para evaluar la probabilidad de presencia o ausencia de nutrias en el área (Loy *et al.*, 2009).

Las características de los hábitats adecuados mostrados en el modelo concuerdan con los resultados del estudio de Graciano 2020 en el que se evalúa los factores de hábitat asociados a la

presencia de la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) en el embalse Porce III. Ya que estas áreas están compuestas principalmente por Bosque densos, vegetación secundaria y bosques riparios, además del todo el cauce del río Porce, excepto el área del muro de la represa.

La zona del embalse hizo parte importante de la idoneidad, ya que presenta abundancia de vegetación en las riberas, disponibilidad de peces y proximidad y riqueza de sistemas lóticos con buenas condiciones de refugio en toda el área de influencia. Sin embargo, se debe tener en cuenta lo que mencionan Pedroso *et al.*, 2004, que el hecho de que se encuentren registros de la nutria en estas represas no significa que estas infraestructuras sean favorables para la nutria, porque el escenario previo debería de ser más idóneo que el actual, sino más bien que gracias a la presencia abundante de agua y presas la nutria puede establecerse en esta zona.

Los resultados indicaron que el hábitat adecuado se restringe principalmente los ríos Porce, Guadalupe, Riachon, Caracolí, El Filo y La Víbora, que son los afluentes de mayor porte al río Porce. La presencia de coberturas naturales, así como aquellas modificadas por actividades antrópicas sugiere que finalmente la presencia de cuerpos de agua con disponibilidad de alimento determina el hábitat para las nutrias. La aplicación de modelos de idoneidad en este caso mostró ser un método eficaz para determinar espacialmente las áreas que presentan las condiciones propicias y donde poblaciones de nutria se pueden establecer. Estos modelos correlativos pueden ser especialmente útiles como técnicas exploratorias, para generar escenarios e hipótesis objetivas que puedan guiar a las agencias reguladoras a identificar las principales fuentes de amenazas a la vida silvestre (Gómez *et al* 2014).

Validación del modelo con datos de presencia

Las marcas odoríferas de la nutria permitieron establecer la distribución y el uso de hábitat por parte de esta especie en la zona de influencia de Porce III, comprobando a su vez que el modelo construido se ajusta a la realidad de la nutria. Se puede afirmar, tomando en cuenta el modelo construido y los lugares de presencia de la nutria, que un hábitat óptimo para la supervivencia y uso de la nutria neotropical es aquella que ofrece buena presencia de bosque denso y de galería, que esta sobre el drenaje doble (río Porce) y alejado de asentamientos y actividades humanas (Mayor *et al.*, 2010).

En el embalse la mayoría de los registros se obtuvieron en la margen derecha, esto se debe a que esta margen es la más alejada de la vía principal y de territorios usados para la ganadería, lo que es congruente con el modelo de idoneidad presentado.

Los pocos avistamientos de la nutria demuestran que es una especie bastante elusiva, por lo que las marcas odoríferas de esta especie son fundamentales para entender su ecología. Según Mayor *et al.*, 2010, puede afirmarse que los lugares que elige la nutria para poner sus marcas, tienen un papel muy importante en la comunicación y delimitación del territorio para la misma especie, por esto los sitios seleccionados por la nutria neotropical para depositar las heces se convierten en un buen indicativo del uso que la especie hace del hábitat. Agregan, además, que un alto número de registros está directamente relacionado con una buena densidad vegetal presente en los márgenes de los ríos. En consecuencia, el estado de conservación de las riberas es determinante para la presencia de la nutria en la zona de estudio.

Por otro lado, en los drenajes sencillos permanentes no se encontraron tantos registros de la nutria a pesar de que también constituyen un hábitat idóneo, esto puede ser debido a que estos drenajes son más usados para la dispersión y no para el establecimiento de los individuos, debido a que estos no presentan la misma abundancia de peces y son aguas poco profundas; sino que más bien son usados de manera transitoria para el desplazamiento, ya sea para evitar el muro o para conectarse con otros ríos aledaños (Carranza *et al.*, 2012; Pedroso *et al.*, 2014).

Como se ha visto, la construcción de grandes represas es considerada una de las mayores amenazas para las nutrias en el mundo ya que las lleva a habitar espacios subóptimos (Pedroso *et al.*, 2004; Trujillo *et al.*, 2016). Lo que es consecuente con los resultados de este estudio en los que se evidencia que, aunque el embalse no es el espacio óptimo por la gran contaminación que le llega y por la interrupción de la conectividad, la gran riqueza hídrica con la que cuenta la zona de influencia de Porce III, la abundancia de vegetación secundaria a los alrededores del embalse y del muro favorecen el establecimiento por parte de la especie. Los resultados enfatizan la importancia de los estudios de monitoreo a largo plazo sobre todo de los hábitats disponibles y la conectividad los cuales permitirán una mejor planificación de las medidas de mitigación y compensación.

Rutas de dispersión

El muro de Porce III tiene una altura de 151 m de altura y 426 m de ancho y su inserción en el río Porce limita la conectividad de la nutria llevándola a solo desplazarse dentro del embalse y los cursos de agua adyacentes, creando una posible barrera a la dispersión, dividiendo los individuos agua arriba y aguas abajo del embalse, lo que podría llevar en un futuro a un posible aislamiento genético (Pedroso *et al.*, 2014). Diferentes estudios muestran que después del llenado de hidroeléctricas parece favorecer la presencia de las nutrias debido a la presencia de agua y de peces, sin embargo, la construcción de estos muros presenta grandes problemas para la conectividad longitudinal dentro del mismo sistema fluvial (Pedroso *et al.*, 2004, Pedroso *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2007). Por lo tanto, los drenajes sencillos y la cobertura vegetal son de gran importancia en centrales hidroeléctricas ya que constituyen corredores de movimiento entre hábitats adecuados, como ríos más grandes, o son en sí mismos hábitats adecuados y así aportar tanto a la conectividad longitudinal como lateral (Carranza *et al.*, 2012).

La ruta de menor costo está situada a la margen derecha del muro de Porce III, a pesar de que este muro representa una gran barrera al libre movimiento de la especie, el embalse de Porce III cuenta con buena vegetación secundaria a los alrededores del muro y gran abundancia de drenajes sencillos tanto intermitentes como permanentes, lo cual favorece significativamente que la nutria pueda evadir el muro y dar continuidad a la conexión entre todo el sistema fluvial del río Porce. Además, esta ruta de menor costo responde a que la que está más alejada de la vía principal, por lo tanto, más distanciado de presencia y actividades humanas. Esta ruta también se encuentra en la porción del muro que está construido en tierra sugiriendo que tal vez el tipo de construcción mixta (concreto y tierra) de estas infraestructuras podría disminuir la fragmentación del río al menos en el caso de la nutria.

En conclusión, debido a la estrecha dependencia de la nutria a los ambientes ribereños, esta información puede resultar valiosa para la toma de mejores decisiones de manejo, recuperación, y conservación de los ambientes riparios, ya que estos representan la mayor idoneidad para la especie (Santiago 2013). Se hace especial énfasis en la importancia de la margen derecha del muro ya que esta parece ser la ruta de dispersión más probable de la especie, se propone que sobre todo este lado sea acciones de manejo, como la conservación del bosque evitando la tala, para no interrumpir el movimiento de la nutria dentro del área y así evitar el aislamiento de los individuos.

Comparación entre escala regional y local

El uso de modelos a diferentes escalas permitió identificar factores que contribuyen tanto a la conectividad del hábitat a escala regional, como a la idoneidad de hábitat a nivel local y regional. Se observa que hay 5 áreas núcleo fundamentales para la nutria neotropical y que estas áreas se encuentran bien conectadas, debido principalmente a la alta presencia de ríos y quebradas.

A nivel regional los embalses de Porce II y Porce III aparecen dentro de la ruta de menos costo y de los corredores como un área importante para la nutria, sin embargo, en el análisis local se observa que el muro de Porce III puede estar interrumpiendo la ruta que se muestra a nivel regional. A pesar de ello, la gran riqueza hídrica de la zona parece minimizar el impacto de esta la construcción de estas estructuras y junto con la tolerancia de la nutria para atravesar pequeños trayectos en tierra puede evadir el muro y permitir que se dé la conectividad tanto longitudinal como lateral.

Si se compara ambos modelos, las áreas idóneas para establecerse la nutria corresponden a lugares con bosques densos o ribereños y en menor medida pastos. Mientras que para los corredores los pastos y los bosques fragmentados hacen parte en mayor medida. Es decir que la nutria es tolerante a estos espacios poco óptimos para su dispersión y puede estar transitoriamente en estos, pero no como para establecerse de permanente o por periodos largos de tiempo. Los lugares que usa para vivir son parches de recursos en donde confluyen las condiciones necesarias, como se muestran en los modelos de idoneidad.

Los resultados brindan información sólida para los esfuerzos de conservación en el noreste del departamento de Antioquia. En estas áreas, el modelo a escala regional podría usarse como una guía general para identificar los corredores más importantes y la conservación de áreas específicas podrían ser informados por el modelo escala local. Por lo tanto, esta herramienta puede ser utilizada para tomar decisiones de manejo en el embalse Porce III, ya que permite establecer la estructura ecológica principal en un área intervenida generando insumos que pueden ser usados en pro de la conservación de la nutria *L. longicaudis* priorizando cuales son las rutas más importantes para la dispersión.

El futuro de la nutria neotropical está totalmente conectado a los diferentes ecosistemas acuáticos donde ocurren y que en la actualidad están siendo fuertemente transformados (Trujillo *et al.*, 2016). El desarrollo continuo y la expansión de terrenos agrícolas podría tener consecuencias

significativamente negativas, la identificación del hábitat óptimos para especies vulnerables a los impactos antropogénicos debería ser uno de los primeros pasos en la conservación y la planificación del paisaje (Poor *et al.*, 2021). La planificación posterior de la conectividad entre paisajes puede aumentar las probabilidades de persistencia de poblaciones fragmentadas.

Como proyecciones y estudios futuros no solo en el área de influencia del embalse sino también en la cuenca del río Nechí, se podría evaluar factores como la disponibilidad y calidad de alimentos, presencia de minería, capacidad de dispersión de la especie, el impacto regional de la construcción de centrales hidroeléctricas, entre otra, para poder comprender mejor como responde la nutria, que otros factores están influyendo en la permanencia y establecimiento, como son los movimientos y como se da la conectividad general de la nutria neotropical.

En Colombia no hay reportes en la literatura direccionados a estudios relacionados con conectividad longitudinal y lateral ni estudios de idoneidad de hábitats en embalses de la nutria neotropical. Estos enfoques son fundamentales como insumo para la conservación de esta especie fuertemente amenazada y para aplicación en estudios futuros.

Referencias

- Carranza, M., Saura, S., D'alessandro, E. (2012). Connectivity providers for semi-aquatic vertebrates: the case of the endangered otter in Italy. *Landscape Ecology*, 27(2), 281-290. DOI 10.1007/s10980-011-9682-3
- Calaça A, Faedo F, Melo O. (2015). Hydroelectric dams: the first responses from giant otters to a changing environment. *IUCN Otter Spec*, 32(2): 48-58.
- Gómez, J., Tunez, J., Fracassi, N., Cassini, M. (2014). Habitat suitability and anthropogenic correlates of Neotropical River otter (*Lontra longicaudis*) distribution. *Journal of Mammalogy*, 95(4), 824–833. DOI: 10.1644/13-MAMM-A-265
- Graciano, S. (2020). Factores de hábitat asociados a la presencia de la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) en el embalse Porce III, Antioquia, Colombia. [Tesis de pregrado]. [Medellín]: Universidad de Antioquia.
- Lacerda, V., Almeida, A., Pereira, A., Plaza., M. (2010). Influence of spatial extent on habitat suitability models for primate species of Atlantic Forest. *Ecological Informatics*, 61 101179

- Looy, K., Piffadya, J., Cavillona, C., Tormos, T., Landryc, P., Souchon, Y. (2013). Integrated modelling of functional and structural connectivity of river corridors for European otter recovery. *Ecological Modelling*, 273, 228–235. ScienceDirect.
- Loy, A., Carranza, M., Cianfrani, C., D'Alessandro, E., Bonesi, L., Di Marzio, P., Minotti, M., Reggiani, G. (2009). Otter *Lutra lutra* population expansion: assessing habitat suitability and connectivity in southern Italy. *Folia Zoologica*, 58(3), 309–326.
- Molina, F., Palacio, J., Zapata, C., Aristizábal, S., Orosco, L., Graciano, S. (2019). Gestión integral de la biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos en cuencas de interés para la generación de energía eléctrica por parte de empresas públicas de Medellín. Medellín: Universidad de Antioquia. Informe final.
- Mateo, R., Felicísimo, A., Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84, 217-240.
- Mayor, R., Boteto, A. (2010). Uso del hábitat por la nutria neotropical *Lontra longicaudis* (carnívora: mustelidae) en la zona baja del río roble, alto cauca, Colombia. *Boletín científico centro de museos*, 14 (1), 121 – 130. ISSN 0123 – 3068.
- Pedroso, N., Santos, M., Vasconcelos, L. (2004). O uso de grandes barragens pela Lontra no Alentejo. *Revista biol*, 22, 211-224.
- Pedroso, N., Marques, T., Santos, M. (2014). The response of otters to environmental changes imposed by the construction of large dams. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 24, 66–80. 10.1002/aqc.2379.
- Pedroso, N., Santos, M. (2009). Assessing otter presence in dams: a methodological proposal. *IUCN Otter Specialist. Group Bull.* 26(2): 97-110.
- Poor, E., Scheick, B., Mullinax, J. (2020). Multiscale consensus habitat modeling for landscape level conservation prioritization. *Scientific Reports*, 10(17783), 1-13. 10.1038/s41598-020-74716-3
- Quadros, J. (2012). Uso do habitat e estimativa populacional de lontras antes e depois da formação do reservatório de Salto Caxias, rio Iguaçu, Paraná, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation*, 7(2), 97-107. 10.4013/nbc.2012.72.03
- Rodríguez, A., Escalona, G., Plasencia, A. (2017). Distribución potencial y conectividad del paisaje: criterios para reevaluar el grado de amenaza de *Campylorhynchus yucatanicus* (Aves: Troglodytidae). *Biología tropical*, 65(4), 1554-1568. 0034-7744

- Rheingantz, M., Santiago, V., Trinca, C. (2017). The Neotropical otter *Lontra longicaudis*: a comprehensive update on the current knowledge and conservation status of this semiaquatic carnivore. *Mammal Review*, 47 (17), 291-305. ISSN 0305-1838
- Santiago, V. (2013). Ocupación y distribución potencial de la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) asociada a variables ambientales en la cuenca del río San Juan, Costa Rica. [Tesis de posgrado]. [Turrialba]: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza CATIE.
- Saura, S., Rubio, L. (2010) A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography* 33:523–537
- Santos, M., Pedroso, N., Ferreira, J., Matos, H., Sales, T., Pereira, I. (2007). Assessing dam implementation impact on threatened carnivores: The case of Alqueva in SE Portugal. *Environmental Monitoring and Assessment*, (17) 142, 47–64.
- Trujillo, F., Herrera, D., Rodríguez, L. (2016). Plan de manejo para la conservación de las nutrias (*Lontra longicaudis* y *Pteronura brasiliensis*) en Colombia. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos: Avella, Carolina; Fundación Omacha. 978-958-8901-31-2.