

ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD A ESCALA PREDIAL CON
ENFOQUE DE PAISAJE

Documentos de Debate SINCHI

ISSN: 2665-3451

Bogotá - Colombia

Luz Marina Mantilla Cárdenas
Directora General

Marco Ehrlich
Subdirector Científico y Tecnológico

Diego Fernando Lizcano Bohórquez
Subdirector Administrativo y Financiero

AUTORES:

Lina Katherine Vergara Chaparro
Nicolai Ciontescu Camargo
Consultores Instituto SINCHI

Jaime Alberto Barrera
Investigador Instituto SINCHI

REVISIÓN Y EDICIÓN:

Patricia Téllez Guio
Consultor Instituto SINCHI

Citación sugerida

Vergara, L.K Ciontescu, N. & Barrera, J. 2019. *Análisis de conectividad a escala predial con enfoque de paisaje*. Instituto SINCHI, Bogotá. Colombia.

© Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI 2019

No. 7, septiembre de 2019

Diseño y diagramación: Gilberto Aponte Celis

Reservados todos los derechos

Disponible en: Instituto SINCHI
<https://www.sinchi.org.co/documentos-de-debate-sinchi>

Publicado en 2019 por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Calle 20 No. 5 – 44. Bogotá D.C. Colombia.

El presente documento fue elaborado dentro del contexto del Proyecto “GEF- Conservación de Bosques y Sostenibilidad en el Corazón de la Amazonía. Componente 3 Programas sectoriales para la sostenibilidad y el manejo del paisaje.

CONTENIDO

INTRODUCCION	5
1. Marco Teórico	6
1.1. La conectividad en el paisaje	6
1.2. Análisis de conectividad basado en la teoría de grafos	6
1.1.1. Variables y datos requeridos para el modelo	7
1.1.2. Índices de conectividad derivados de la teoría de grafos	8
2. Área de estudio	9
2.1. Área de estudio 1: zona en el departamento del Caquetá	9
2.2. Área de estudio 2: zona en el departamento del Guaviare	9
2.3. Área de estudio 3: zona comprendida por las subzonas hidrográficas de las cuencas de río Caguán y el alto Caquetá (departamento del Caquetá)	12
3. Metodología	13
3.1. Especies de interés para el análisis de la conectividad del área	13
3.1.1. Gurre o armadillo de nueve bandas (<i>Dasyus novencintus</i>)	13
3.1.2. Lapa (<i>Cuniculus paca</i>)	14
3.1.3. Zaño (<i>Pecari tajacu</i>)	14
3.1.4. Cajucho Caafuche (<i>Tayassu pecari</i>)	14
3.2. Parámetros del modelo y preparación de la información	15
3.2.1. Definición y calidad de los nodos	16
3.2.2. Superficie de fricción o resistencia	18
3.2.3. Construcción de los enlaces, sus atributos y las zonas de mayor valor como corredores	22
3.3. Cálculo de las medidas de conectividad	24
4. Resultados	25
4.1. Resultados para el área de estudio 1: zona en el departamento del Caquetá.	25
4.1.1. Número de fragmentos y calidad	25
4.1.2. Importancia de los fragmentos de hábitat para la conectividad	28
4.1.3. Costo del movimiento a través de la matriz y rutas de menor costo	32
4.2. Resultados para el área de estudio 2: Zona en el departamento del Guaviare	36
4.2.1. Número de fragmentos y calidad	36
4.2.2. Importancia de los fragmentos de hábitat para la conectividad	39
4.2.3. Costo del movimiento a través de la matriz y rutas de menor costo	44
4.3. Resultados para el área de estudio 3: zona comprendida por las subzonas hidrográficas de las cuencas de río Caguán y el alto Caquetá (departamento del Caquetá)	45
4.3.1. Número de fragmentos y calidad	45
4.3.2. Importancia de los fragmentos de hábitat para la conectividad	49
4.3.3. Costo del movimiento a través de la matriz y rutas de menor costo	52
5. Consideraciones para el uso de los análisis de conectividad en el proyecto	54
Bibliografía	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de análisis de un paisaje con el enfoque de la teoría de grafos. Los círculos representan cada parche con su atributo de área. Las líneas representan la conectividad entre los dos parches (que en el caso del ejercicio se asumirá que existe entre todos los pares de parches) y el número indica la probabilidad de movimiento entre los dos parches	7
Figura 2. Área de estudio 1 y área extendida de análisis en los municipios de Belén de los Andaquíes Albania, Currillo y San José del Fragua (Caquetá)	10
Figura 3. Área de estudio 2 y área extendida de análisis para las zonas este (E) y oeste (W) en el departamento del Guaviare	11
Figura 4. Área estudio 3 para las subzonas hidrográficas de las cuencas de río Caguán y el alto Caquetá (departamento del Caquetá)	12
Figura 5. Metodología general empleada para el análisis de la conectividad en las áreas de estudio 1 y 2	15
Figura 6. Metodología general empleada para el análisis de la conectividad en el área de estudio 3	17
Figura 7. Superficie de resistencia según las coberturas de la tierra presentes para el armadillo, lapa y cajucho para el área de estudio 1	21
Figura 8. Superficie de resistencia según las coberturas de la tierra presentes para el armadillo, lapa y cajucho para el área de estudio 2	22
Figura 9. Superficie de resistencia según las Coberturas de la Tierra presentes para el armadillo y lapa para el área de estudio 3	23
Figura 10. Fragmentos de hábitat potencial para el armadillo y la lapa (izquierda), zaino (centro) y cajucho (derecha), de acuerdo con las áreas críticas para cada especie reportadas por (Benchimol & Peres, 2015)	26
Figura 11. Calidad de hábitat de los fragmentos derivada a partir del área (ha) y el índice de círculo circunscrito relacionado (CIRCLE). La representación de las tres clases se realizó con el método de clasificación de Intervalos geométricos	27
Figura 12. Contribución de cada fracción dPC intra, flux y connect a la conectividad total (dPC) para el área de análisis de Caquetá en los escenarios de cada especie. Teniendo en cuenta el alto valor del bosque de la reserva Forestal y el PNN Indi Wasi, se muestran la importancia de cada fracción con y sin estos bosques. Para el Cajucho, donde únicamente hay dos fragmentos adicionales con el área requerida, se indican los resultados con la RF y el PNN	28
Figura 13. Importancia de los bosques para la conectividad de las especies de dispersión corta (armadillo, lapa) de acuerdo al valor del indicador dPC (arriba izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCIntra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dePC Coneect (abajo derecha)	30
Figura 14. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaino) de acuerdo al valor del indicador dPC (arriba izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCIntra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dePC Connect (abajo derecha)	31
Figura 15. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse por la matriz entre fragmentos de bosque para el armadillo y lapa	33
Figura 16. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse entre fragmentos de bosque para el zaino	34
Figura 17. Drenajes y fragmentos de bosque. Aunque en la zona del proyecto del municipio de Albania los fragmentos están muy dispersos, el enriquecimiento de cursos de agua podría ser una buena opción como corredores para mejorar la conectividad	35

Figura 18. Fragmentos de hábitat potencial en la zona oriental (arriba) y occidental (abajo) para el armadillo y la lapa (izquierda), zaino (centro) y cajuiche (derecha), de acuerdo con las áreas críticas para cada especie reportadas por (Benchimol & Peres, 2015)	37
Figura 19. Calidad de hábitat de los fragmentos derivada a partir del área (ha) y el índice de círculo circunscrito relacionado (CIRCLE). La representación de las tres clases se realizó con el método de clasificación de Intervalos geométricos	38
Figura 20. Contribución de cada fracción dPC intra, flux y connect a la conectividad total (dPC) para el área de análisis de la zona occidental de Guaviare en los escenarios de cada especie. Teniendo en cuenta el alto valor del bosque de la reserva forestal, se muestran la importancia de cada fracción con y sin estos bosques. Para el cajuiche, donde únicamente hay dos fragmentos adicionales con el área requerida, se indican los resultados con la reserva forestal	40
Figura 21. Importancia de los bosques para la conectividad de las especies de dispersión corta (armadillo, lapa) de acuerdo al valor del indicador dPC (arriba izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dPCconnect (abajo derecha)	41
Figura 22a. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaíno) de acuerdo al valor del indicador dPC (izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (derecha).....	42
Figura 22b. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaíno) de acuerdo al valor del indicador dPCflux (izquierda) y dPCconnect (derecha)	43
Figura 23. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse por la matriz entre fragmentos de bosque para el armadillo y lapa	44
Figura 24. Fragmentos de hábitat potencial para el armadillo y la lapa de acuerdo con las áreas críticas para cada especie reportadas por (Benchimol & Peres, 2015)	46
Figura 25. Fragmentos de hábitat potencial para el zaino de acuerdo con las áreas críticas para cada especie reportadas por (Benchimol & Peres, 2015)	47
Figura 26. Calidad de hábitat de los fragmentos derivada a partir del área (ha) y el índice de círculo circunscrito relacionado (CIRCLE). La representación de las tres clases se realizó con el método de clasificación de intervalos geométricos	48
Figura 27. Contribución de cada fracción dPC intra, flux y connect a la conectividad total (dPC) para el área de estudio 3 en los escenarios de cada especie	49
Figura 28. Importancia de los bosques para la conectividad de las especies de dispersión corta (armadillo, lapa) de acuerdo al valor del indicador dPC (abajo derecha) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dPCconnect (arriba izquierda)	51
Figura 29. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaíno) de acuerdo al valor del indicador dPC (abajo derecha) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dPCconnect (arriba izquierda)	52
Figura 30. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse por la matriz entre fragmentos de bosque para el armadillo y lapa	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Áreas críticas requeridas por cada especie según datos obtenidos en la Amazonía brasilera (Benchimol & Peres, 2015) y promedio de las áreas territoriales reportados en la literatura y recopilados por los mismos autores	14
Tabla 2. Valores asignados a las coberturas para construir la superficie de resistencia	19
Tabla 3. Áreas territoriales promedio reportados en la literatura y recopilados por Benchimol & Peres (2015) utilizadas para determinar la distancia de dispersión	24
Tabla 4. Número total de fragmentos de bosque de hábitat (nodos) para cada especie de acuerdo al área crítica o rango de hábitat empleados en el análisis y número que se encuentran dentro del área específica del proyecto	25
Tabla 5. Número total de fragmentos de bosque de hábitat (nodos) para cada especie de acuerdo al área crítica o rango de hábitat empleados en el análisis y número que se encuentran dentro del área específica del proyecto	36
Tabla 6. Número total de fragmentos de bosque de hábitat (nodos) para cada especie de acuerdo al área crítica o rango de hábitat empleados en el análisis y número que se encuentra dentro del área específica del proyecto	45

INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto del proyecto “Conservación de bosques y sostenibilidad en el Corazón de la Amazonía” y teniendo en cuenta que el análisis de la configuración espacial de los relictos de bosque permite generar una línea base para la evaluación de servicios y el monitoreo de un área, se realiza un análisis de conectividad de los fragmentos de bosques presentes en tres áreas de estudio comprendidas en el área de interés del proyecto de los departamentos del Caquetá (2 áreas) y Guaviare (1 área); La primera área del departamento del Caquetá (línea base al 2014) incluye los municipios de Belén de los Andaquíes, San José de Fragua, Curillo y Albanía, la segunda área del departamento del Caquetá (línea base al 2016) comprende dos subzonas hidrográficas de las cuencas del río Caguán y el Alto Caquetá y abarca los municipios de Cartagena del Chairá, Puerto Rico, San Vicente del Caguán, Solano, Montañita, Puerto Leguizamo y El Paujil; y el área del departamento del Guaviare (línea base al 2014) abarca los municipios de San José de Guaviare, El retorno y Calamar.

El análisis de la conectividad se realizó aplicando una metodología basada en la teoría de grafos, donde es posible evaluar la contribución de cada fragmento a la conectividad total. El ejercicio se realizó para cuatro especies de mamíferos con información obtenida de la bibliografía: el armadillo o gurre de nueve anillos (*Dasybus novencintus*), la lapa (*Cuniculus paca*) analizadas conjuntamente como especies de distancias de dispersión corta; el zaíno (*Pecari tajacu*) de dispersión media y el cajúche (*Tayassu pecari*) como especie con una distancia de dispersión larga, para la primera zona del departamento del Caquetá y la zona del departamento del Guaviare, mientras que para la segunda zona del departamento del Caquetá el análisis se enfocó solo a para tres mamíferos (armadillo, lapa y zaíno)

El documento muestra un marco teórico sobre los conceptos generales de conectividad y sus respectivos índices, la metodología empleada y los resultados obtenidos acerca de la importancia relativa de cada fragmento de bosque, así como el valor de la matriz para la conectividad, medida como el costo de moverse a través de esta para las tres áreas de estudio.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La conectividad en el paisaje

La conectividad puede definirse como la característica del paisaje que facilita los flujos ecológicos y el movimiento de los organismos a través del mismo (Calabrese & Fagan, 2004) o como el grado en el cual el paisaje facilita o impide el movimiento entre fragmentos, siendo considerada como un factor clave en la conservación de la biodiversidad para el mantenimiento de la estabilidad e integridad de los ecosistemas naturales (Taylor, Fahrig, Henein, & Merriam, 1993); (Raison, Brown, & Flinn); (Crist, Michele, Wilmer, Aplet, & Gregory, 2005) en (Saura & Pascual-Hortal, 2007). En este sentido la conectividad tiene dos componentes: i) el aspecto estructural relacionado directamente con la configuración espacial del paisaje y ii) el aspecto funcional que se relaciona con la capacidad de dispersión de las especies o flujos ecológicos, razón por la cual depende del grupo biológico o procesos ecológicos considerados (Calabrese & Fagan, 2004).

La conectividad asegura la dispersión de las especies, el flujo de genes necesario para mantener las poblaciones y diversas funciones ecológicas a nivel de paisaje, constituyendo un aspecto clave en la planeación de la conservación, análisis de cambios, monitoreo y manejo de los paisajes transformados donde aún quedan espacios de hábitat, ya sea para implementar acciones que aumenten la permeabilidad de la matriz y faciliten el movimiento a través de ella o la construcción de corredores de condiciones favorables que conecten físicamente las zonas de hábitat remanente (Pascual-Hortal & Saura, Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation., 2006); (Baranyi, Saura, Podani, & Jordán, 2011).

1.2. Análisis de conectividad basado en la teoría de grafos

Existen diversas aproximaciones para medir la conectividad ecológica con métodos de medición substancialmente diferentes entre sí, que van desde las puramente estructurales hasta análisis más complejos que implican información de ausencia/presencia, movimientos, migraciones, análisis espacialmente explícitos y metapoblaciones. La selección del método depende en gran medida de la disponibilidad de información, de tal manera que los métodos más precisos requerirán de una gran cantidad de esfuerzo y datos de las especies (Calabrese & Fagan, 2004).

Teniendo en cuenta la información cartográfica disponible, así como los datos sobre el consumo de especies de fauna recopilada durante el proyecto “*Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*” (Yara, 2015) se optó por realizar un análisis con enfoque funcional para algunas especies de caza, aplicando un método basado en la teoría de grafos, junto con información bibliográfica sobre el hábitat y movimiento de las mismas. Este enfoque de grafos ha venido ganando interés en la planeación de la conservación ya que facilita el modelamiento de la conectividad entre hábitats. (Erös, Schmera, & Schicke, 2011).

En la teoría de grafos, el paisaje es concebido como un conjunto de parches o fragmentos de hábitat (denominados nodos) y elementos o posibles conexiones (enlaces), lo cual permite aplicar la teoría y matemática correspondiente a los grafos para el estudio de la conectividad y hábitat disponible para las especies. De esta manera, un grafo es una estructura topológica formada por nodos y enlaces en la que unos conectan a los otros (Figura 1). En este caso los nodos son los fragmentos de bosque y el enlace entre un par de nodos representa el potencial para moverse entre los parche; estos enlaces pueden corresponder a corredores físicos, o pueden representar una conexión funcional (Pascual-Hortal & Saura, Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation., 2006).

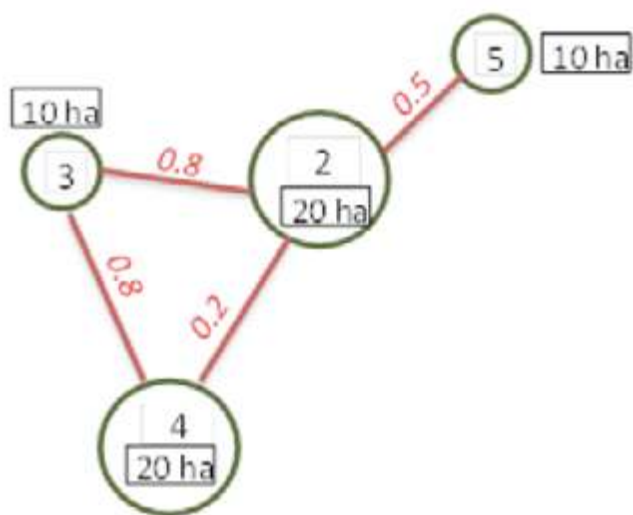


Figura 1. Ejemplo de análisis de un paisaje con el enfoque de la teoría de grafos. Los círculos representan cada parche con su atributo de área. Las líneas representan la conectividad entre los dos parches (que en el caso del ejercicio se asumirá que existe entre todos los pares de parches) y el número indica la probabilidad de movimiento entre los dos parches.

1.1.1. Variables y datos requeridos para el modelo

La construcción de los grafos requiere definir ciertas variantes, las cuales dependen de los objetivos del análisis, el conocimiento que se tiene sobre las especies focales y la información disponible para la parametrización del modelo. Estos incluyen: i) definición de los nodos existentes o de interés según la especie y ii) los parámetros para definir las conexiones o enlaces entre nodos, incluidos las distancias de dispersión de las especies y la facilidad para moverse por la matriz (Galpern, Manseau, & Fall, 2011).

i) **Los nodos** se definen como aquellas unidades o parches que probablemente o con certeza son utilizados como hábitat. Para estos nodos se definen atributos o pesos que describen sus propiedades, tales como área, tamaño de población, ocupación del nodo o parche por la especie, diversidad o calidad del hábitat (Galpern, Manseau, & Fall, 2011).

ii) Si cada par de nodos están conectados entre sí, es decir si hay flujo de la especie o del proceso de interés, implica que existe **un enlace** entre estos dos. Por lo tanto, se necesita determinar la presencia o no de una conexión entre dos nodos (por ejemplo, la conexión confirmada por seguimiento del movimiento de la especie o las distancias medias de dispersión). Para un análisis probabilístico se requiere además de un atributo que describa la fuerza de la conexión o enlace, como por ejemplo la distancia geográfica (euclidiana) o las distancias efectivas obtenidas como la suma del costo de seguir una ruta pasando por diferentes coberturas o características, que pueden ser aquella o aquellas de menor costo (Galpern, Manseau, & Fall, 2011); (Pascual-Hortal & Saura, 2008). Este último método ha sido utilizado para muchos mamíferos terrestres; es necesario tener en cuenta que, si bien puede capturar mejor la probabilidad de conectividad entre nodos que una distancia euclidiana en línea recta, tiene la desventaja que requiere una cuidadosa e intensiva parametrización para definir una **superficie de resistencia o fricción**. Esta superficie representa el costo, riesgo o dificultad que implica para una especie o proceso determinado pasar por cada punto de la matriz (áreas de no hábitat entre nodos) según las características de la misma, lo cual implica algunos retos para determinar los valores adecuados; suele construirse como una capa de formato ráster en la que los valores de cada pixel son asignados teniendo en cuenta diferentes variables de interés (cobertura, pendiente, infraestructura, influencia humana, etc.). Actualmente se han desarrollado diferentes métodos para cuantificar las superficies de resistencia y no existe consenso sobre la forma apropiada de escoger las variables que se tienen en cuenta o las aproximaciones de análisis para su construcción. Existen en la literatura algunas revisiones que comparan los diferentes métodos e identifican los vacíos existentes en este aspecto, y que pueden servir como guía (Zeller, McGarigal, & Whiteley, 2012). A pesar de los retos que puede representar construir la superficie de fricción, se recomienda no utilizar distancias euclidianas para especies no voladoras (Gurrutxaga, Lidón Rubio, & Saura, 2011); (Pirnat & Hladnik, 2016).

1.1.2. Índices de conectividad derivados de la teoría de grafos

Existen diversos índices de conectividad derivados de los análisis de grafos, los más básicos incluyen el número de enlaces (NL), el número de componentes (NC) o el tamaño medio del componente (MCS). En los últimos años se han diseñado métricas o indicadores basadas en la cuantificación de la cantidad de hábitat disponible en el paisaje para una especie o flujo ecológico, y que incluye la calidad de cada parche o nodo por sí mismo (intra-parche), junto con el área que puede alcanzar a través de los enlaces o conexiones (inter-parche). A diferencia de otras métricas relacionadas con la conectividad, tales como la distancia al vecino más cercano o CONNECT, las métricas o índices derivados de la teoría de grafos pueden tener en cuenta información acerca de la calidad del fragmento y de las características de la matriz, permitiendo evaluar y priorizar la contribución de cada fragmento en el mantenimiento de la conectividad total, lo que conlleva a la posibilidad de modelar y analizar distintos escenarios posibles de cambio (Pascual-Hortal & Saura, 2006); (Saura & Pascual-Hortal, 2007); (Gurrutxaga, Lidón Rubio, & Saura, 2011)

En el caso particular de este tipo de índices se han desarrollado algunas métricas para **modelos de grafos binarios**, es decir aquellos que únicamente tienen en cuenta la existencia (1) o no (0) de conectividad entre parches y para **modelos de grafos probabilísticos** en los que se tiene en cuenta la posibilidad o probabilidad de moverse entre cada par de fragmentos; estos últimos se describen continuación.

1.1.2.1. Índice de probabilidad de conectividad PC (Saura & Pascual-Hortal, 2007)

Tiene en cuenta la posibilidad o probabilidad de moverse entre cada par de fragmentos. Se calcula como:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^*}{A_L^2}$$

Ecuación 1

Donde, a_i y a_j son las áreas de los parches i y j , A_L es el área total del paisaje (incluyendo hábitat y no hábitat) y p_{ij}^* es el máximo producto de las probabilidades de todas las rutas entre i y j .

1.1.2.2. Área conectada equivalente (ECA)

Representa el área que tendría que tener un único parche para tener el mismo valor de PC que el mosaico de parches analizado. Se calcula como:

$$ECA(PC) = \sqrt{\text{numerador de PC}}$$

Ecuación 2

1.1.2.3. Delta del índice de probabilidad de conectividad PC (dPC_k)

Puede usarse para determinar la diferencia de la conectividad del paisaje original comparada con la que se obtendría al remover un elemento k del paisaje (enlace o parche). Esta diferencia se denota como dPC_k y resulta útil para priorizar y determinar la importancia de cada elemento k del paisaje por su contribución a la conectividad del hábitat total (Ecuación 3) (Saura & Pascual-Hortal, 2007). El índice dPC_k puede ser partido en tres fracciones (dPC_{intra}, dPC_{flux} y dPC_{conector}, Ecuación 4) considerando las diferentes formas en la cual k contribuye a la conectividad total del paisaje (Saura & Rubio, 2010).

$$dPC_k = 100 \times \frac{PC - PC_{remove,k}}{PC} = 100 \times \frac{\Delta PC_k}{PC}$$

Ecuación 3

$$dPC_k = dPC_{intrak} + dPC_{fluxk} + dPC_{connectork}$$

Ecuación 4

Dónde:

- **dPCintrak:** es la contribución del parche o nodo k en términos de conectividad al interior del parche (conectividad intra- parche) es decir el área de hábitat disponible (u otro atributo relevante) que provee cada nodo por sí mismo. Los enlaces o la posición espacial dentro del paisaje no aportan en términos de esta fracción.

- **dPCconnectork:** es la contribución del enlace k a la conectividad entre nodos o parches de hábitat, como un elemento conector o punto de paso entre ellos (conectividad inter- parches). Esta fracción depende únicamente de la posición topológica del nodo respecto a otro y los enlaces en la red del paisaje, siendo independiente de su área o cualquier otro atributo de calidad de los nodos. Un cierto parche o enlace contribuye a dPCk a través de dPCconnectork solo si es parte de la mejor ruta (máximo producto de probabilidades Ecuación 2) para la dispersión entre otros dos parches (Saura & Rubio, 2010).

- **dPCfluxk:** corresponde al flujo de dispersión ponderado por el área a través de las conexiones del parche k hacia o desde otros parches en el paisaje. Esta fracción depende tanto del atributo del parche k (a mayor valor del atributo mayor flujo produce) y su posición en la red del paisaje. Así representa la probabilidad de flujo de individuos entre diferentes fragmentos de hábitat de buena calidad.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El análisis de conectividad se desarrolla para tres áreas: una zona en el departamento de Caquetá, una zona en el departamento del Guaviare y una zona comprendida por las subzonas hidrográficas de las cuencas de río Caguán y el alto Caquetá (igualmente en el departamento del Caquetá). A continuación, se describe cada una estas áreas.

2.1. Área de estudio 1: zona en el departamento del Caquetá.

El área de estudio 1 definida para el departamento del Caquetá, incluye los municipios de Belén de los Andaquíes, Albania, Currillo y San José del Fragua en el departamento de Caquetá – Colombia (Figura 2), donde las grandes áreas de bosque se encuentran en las partes de mayor altitud, correspondientes a la reserva forestal y el parque nacional natural Alto Fragua Indi Wasi, mientras que en las zonas bajas únicamente existen algunos relictos de bosques aislados (Figura 6). Para evitar que los resultados fueran sesgados por el límite del área del proyecto, se incluyó en el ejercicio de conectividad las zonas circundantes, que para efectos de este informe se denomina área de análisis y cubren la totalidad de los cuatro municipios.

2.2. Área de estudio 2: zona en el departamento del Guaviare.

El área de estudio 2, definida para el departamento del Guaviare, incluye 54 veredas de los municipios de San José de Guaviare, el Retorno y Calamar (Figura 3), que hacen parte de los Proyectos “Conservación de bosques y sostenibilidad en el corazón de la Amazonía” e “Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare”. En esta región las grandes áreas de bosque se encuentran en la parte oriental y sur correspondientes a la reserva forestal de la Amazonía y la reserva indígena Nukak Maku, mientras que en el resto del área únicamente existen algunos relictos de bosques aislados. Para evitar que los resultados fueran sesgados por el límite del área del proyecto, se incluyó en el ejercicio de conectividad las zonas circundantes, que para efectos de este informe se denomina área de análisis (Figura 3).

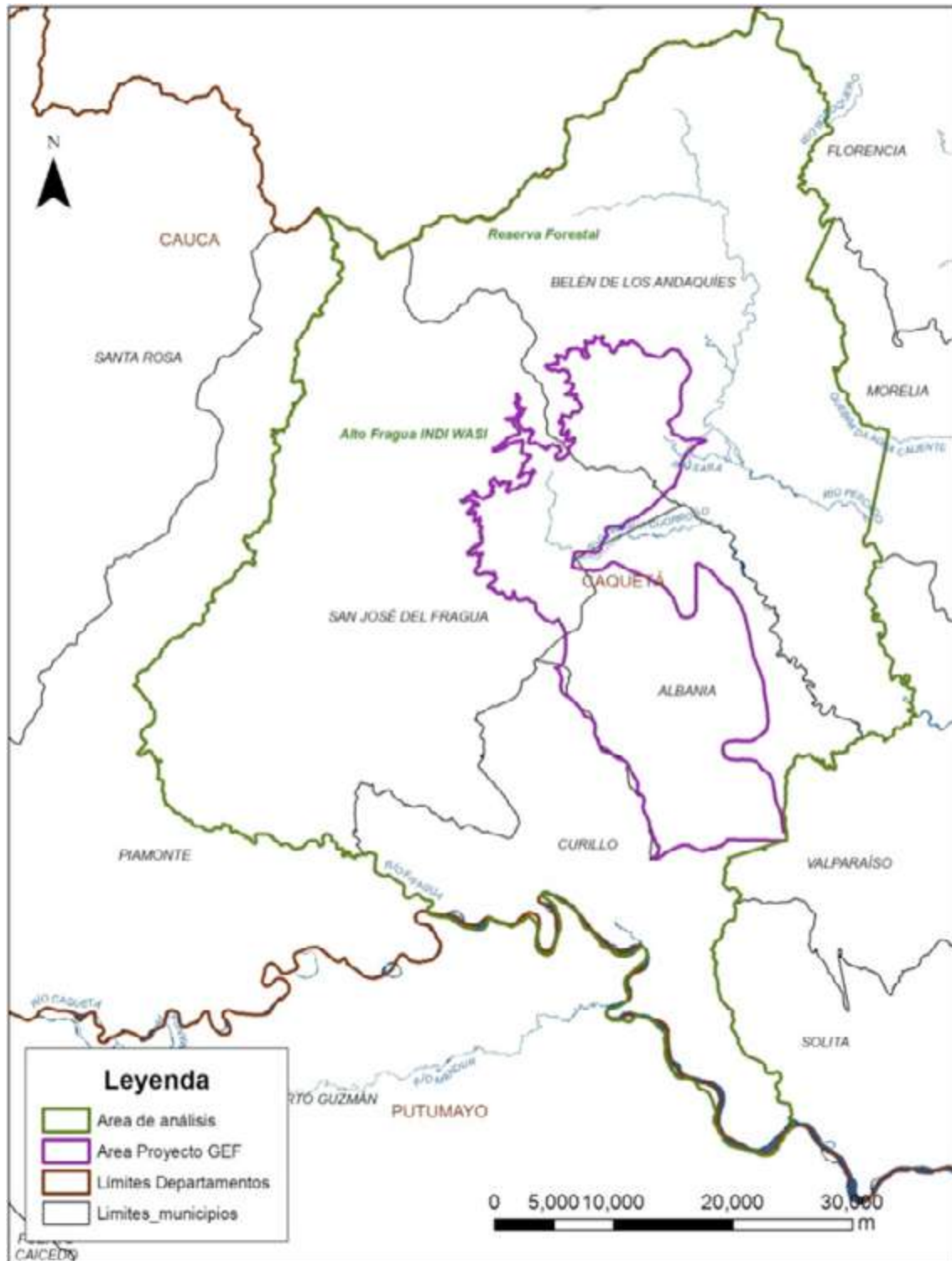


Figura 2. Área de estudio 1 y área extendida de análisis en los municipios de Belén de los Andaquíes Albania, Currillo y San José del Fragua (Caquetá).

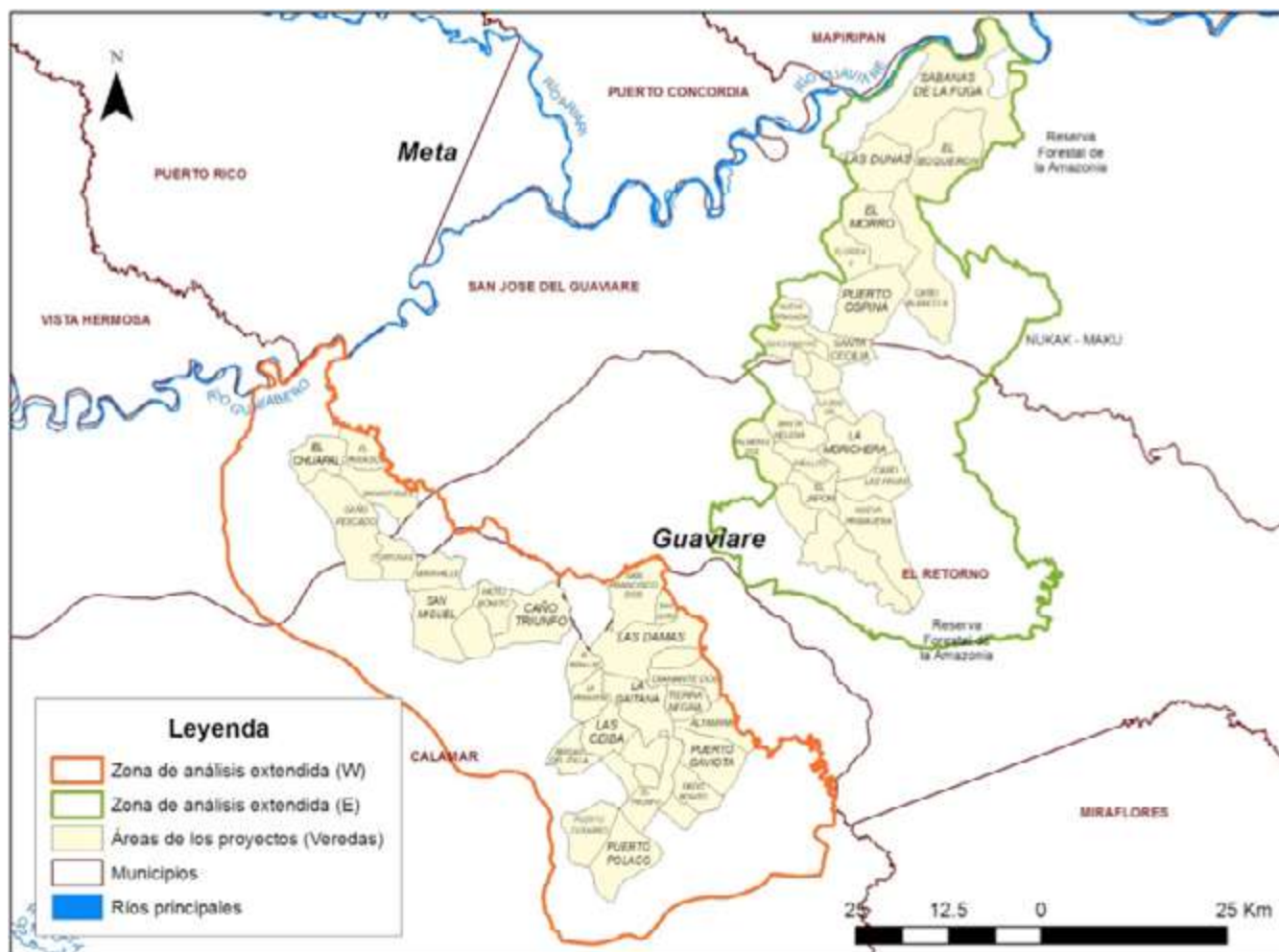


Figura 3. Área de estudio 2 y área extendida de análisis para las zonas este (E) y oeste (W) en el departamento del Guaviare

2.3. Área de estudio 3: zona comprendida por las subzonas hidrográficas de las cuencas de río Caguán y el alto Caquetá (departamento del Caquetá)

El área de estudio 3, se definió con base en la delimitación de las subzonas hidrográficas del IDEAM, pues, aunque el área de interés es el municipio de Cartagena de Chaira fue necesario definir un área más grande que obedezca a condiciones biofísicas y no administrativas. En este sentido, se seleccionaron todas las subzonas hidrográficas que interceptaran con dicho municipio; a saber, fueron

las subzonas de río Caguán, directos Caguán, desde río Guayas, río Caguán-Sunsiya y Alto Caquetá - Rutuya y río Caguán, directos Caguán desde bocas del Sunsiya (Figura 4).

Dentro del área definida se encuentran los municipios de Cartagena del Chairá, Puerto Rico, San Vicente del Caguán, Solano, Montañita, Puerto Leguizamo y E Paujil. De los municipios nombrados, Cartagena del Chairá es el que más área tienen dentro de la zona de estudio, ya que de las 1.277.007 ha del municipio, cerca de 828.132 ha se encuentran dentro del área de estudio, lo que corresponde al 65% del municipio.

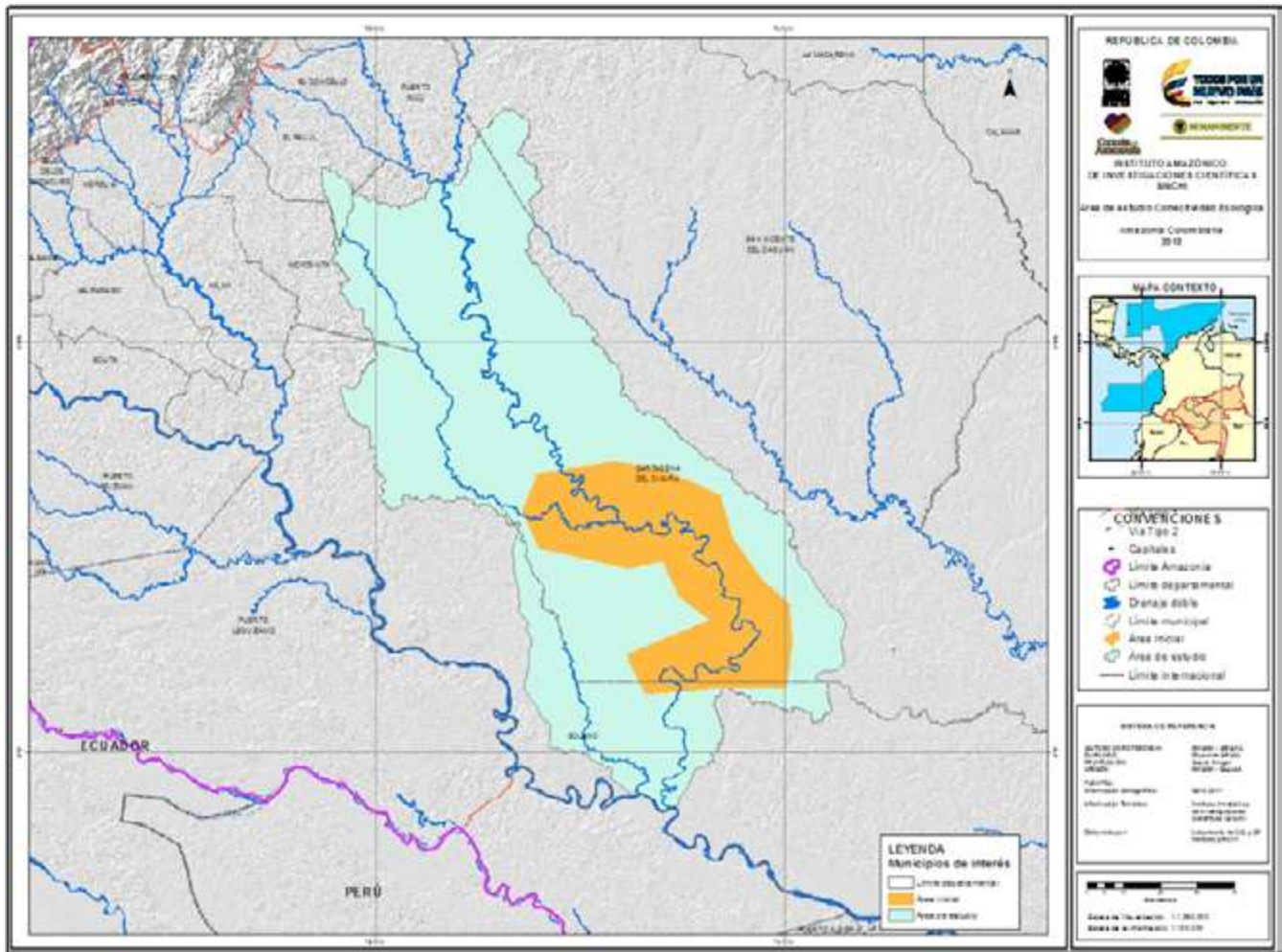


Figura 4. Área estudio 3 para las subzonas hidrográficas de las cuencas de río Caguán y el alto Caquetá (departamento del Caquetá)

3. METODOLOGÍA

3.1. Especies de interés para el análisis de la conectividad del área

Un mismo paisaje es percibido de manera diferencial por distintas especies (o procesos) debido a que las condiciones de distancia de dispersión varían y la preferencia de rutas de movimiento y selección de hábitat o sitios de paso dependerá también de otras variables, tales como la disponibilidad de alimento, competencia intra e interespecífica, presencia de predadores, rasgos de comportamiento y factores aleatorios entre otros. Al igual que cualquier modelo, el análisis de grafos simplifica la realidad seleccionando las variables que resultan más importantes en la conectividad. El resultado y su correspondencia con las condiciones del paisaje se mejoran en la medida en que se incluye información de las especies a cerca de las preferencias o selección de fragmentos como hábitat (lo cual se incorpora en la metodología a través de los valores de calidad de hábitat de los fragmentos o nodos) y datos del movimiento de los individuos a través del paisaje (incorporado como datos de distancias de dispersión y/o en la superficie de resistencia al movimiento. En este caso la información se obtuvo de la bibliografía.

Por lo tanto, las especies se seleccionaron a partir de los resultados de encuestas sobre la caza de fauna silvestre en los municipios de Calamar, el Retorno y San José del Guaviare (Yara, 2015). En este trabajo se encontró que la fauna de cacería se concentra en 36 especies, de las cuales las 6 más importantes para la extracción son mamíferos: el gurre o armadillo (*Dasypus kaplei* y *Dasypus novencintus*), la lapa (*Cuniculus paca*), el ñeque o chaqueto (*Dasyprocta fuliginosa*), el zaíno (*Pecari tajacu*) y el cajucho (*Tayassu pecari*), siendo la lapa el gurre y el cajucho las especies predilectas cazadas por un mayor número de personas.

En los análisis de conectividad, los mamíferos terrestres son usados con frecuencia como especies focales ya que son particularmente sensibles a las barreras del paisaje, especialmente a infraestructuras como las vías; así mismo, las zonas de movimiento o conexiones entre hábitats de esta fauna suelen ser usadas por múltiples especies y flujos ecológicos (Gurrutxaga, Lidón Rubio, & Saura, 2011).

De otro lado, los mamíferos de tamaño mediano pueden ser particularmente susceptibles a los cambios en el

paisaje y pueden ser un indicador de la degradación del hábitat (Gutierrez, Harmsen, Doncaster, Kay, & Foster, 2016). Estas características, sumadas a la presión sobre las poblaciones animales por la caza y al servicio ambiental que prestan a los habitantes de la zona llevó a utilizar como especies focales algunas de las especies de fauna sometidas a la actividad extractivas. De las 6 especies de mayor caza identificadas por Yara (2015) se seleccionaron 4 teniendo en cuenta la disponibilidad de información y las distancias de dispersión para tener análisis con especies de distancias de dispersión cortas y largas: La especie de gurre de nueve anillos (*Dasypus novencintus*) y la lapa (*Cuniculus paca*) analizadas conjuntamente como especies de distancias de dispersión corta; el zaíno (*Pecari tajacu*) de dispersión media y el cajucho (*Tayassu pecari*) con distancias de dispersión más amplias. Los requerimientos de hábitat y rangos de movimiento para estas especies fueron obtenidos de la literatura:

3.1.1. Gurre o armadillo de nueve bandas (*Dasypus novencintus*)

A nivel global, se distribuye en Estados Unidos, México, Centro América, Sudamérica hasta el Norte de Argentina, las Antillas y Trinidad y Tobago. En Colombia se encuentra en los llanos orientales, las costas Atlántica y Pacífica, la región Andina y selvas del Amazonas, entre los 0 y los 1500 msnm o más (IAvH, 2011). El hábitat de los armadillos se encuentra asociado generalmente a los bosques, con vegetación densa, cerca de cuerpos de agua (Goulart, y otros, 2009); (IAvH, 2011) y las zonas pantanosas, excavando madrigueras en remansos de los ríos y matorrales (IAvH, 2011). En la Amazonía brasilera se encuentra en fragmentos pequeños de bosque siempre y cuando tengan dosel (no en áreas de vegetación arbustiva). Se han registrado áreas territoriales bajas de 2.5 a 3.4 hectáreas (McDonough, 2000) en: (Yara, 2015), por lo que se deduce que no recorren grandes distancias para pasar de un parche a otro (Yara, 2015). Los armadillos son capaces de nadar grandes distancias (McBee & Baker, 1982) e incluso caminar para cruzar cuerpos de agua angostos y muy poco profundos (McBee & Baker, 1982). Mediciones de las diferencias en la ubicación entre avistamientos de un mismo individuo en Florida muestran que los armadillos se mueven en cerca de 200 m con valores promedios registradas de 156,2 m, en un mismo año, 210,1 y 231,4 m, entre deferentes años (Loughry & McDonough, 1998).

3.1.2. Lapa (*Cuniculus paca*)

Se encuentra principalmente en bosque con una alta densidad de árboles (Goulart, y otros, 2009); (Jax, SMarín, Rodríguez-Ferraro, & Isasi-Catalá, 2015) y su distribución está asociada a cuerpos de agua (Goulart, y otros, 2009); (Valsecchia, El Bizria, & Figueira, 2014); (Jax, SMarín, Rodríguez-Ferraro, & Isasi-Catalá, 2015). En Belice se observó que cuando el hábitat de bosque es inaccesible debido a las inundaciones, las pacas prefieren un hábitat de sabana con vegetación densa en lugar de la sabana con pastos más abiertos (Gutierrez, Harmsen, Doncaster, Kay, & Foster, 2016). Respecto al movimiento, Weckel *et al.* 2006 en: (Valsecchia, El Bizria, & Figueira, 2014) encontró que las pacas siguen rutas cortas, lejos de caminos utilizados por el hombre.

3.1.3. Zaíno (*Pecari tajacu*)

Se encuentra desde los 0 a los 2.000 m.s.n.m. en los bosques, aunque también se pueden observar en pastizales y sabanas y matorrales, puesto que se adaptan muy bien a hábitats perturbados (IAvH, 2009).

3.1.4. Cajucho Caafuche (*Tayassu pecari*)

En Colombia se encuentra en los Llanos Orientales y la Amazonia, entre los 0 a 1800 msnm. Habita principalmente en el bosque húmedo tropical, aunque también pueden en ocasiones encontrarse en sabanas, pero siempre cerca de cuerpos de agua. Viven en rebaños que van desde cinco individuos hasta 200 o más; son activos en la noche y viajan largas distancias (IAvH, 2012).

Tomando como base las observaciones y registros de fauna en bosques continuos y fragmentos en la Amazonía brasilera, (Benchimol & Peres, 2015) se determinó mediante modelos de regresión logística, el área crítica de bosque requerida para asegurar una probabilidad mínima de ocupación de 60% por parte de diferentes especies de mamíferos, incluidas las cuatro especies seleccionadas. Así mismo, se recopiló información de las áreas territoriales (home range) reportados en la literatura. Esta información fue tomada en cuenta para construir los modelos de conectividad del área de estudio.

Tabla 1. Áreas críticas requeridas por cada especie según datos obtenidos en la Amazonia brasilera (Benchimol & Peres, 2015) y promedio de las áreas territoriales reportados en la literatura y recopilados por los mismos autores

Especie	Área crítica (ha)*	Área territorial promedio – Home Range (ha)**
Armadillo (<i>Dasypus novencintus</i>)	0,2	3,4
Lapa (<i>Cuniculus paca</i>)	9,66	2,46
Zaíno (<i>Pecari tajacu</i>)	112,2	500
Cajucho (<i>Tayassu pecari</i>)	1202,3	2970

*Área crítica requerida para asegurar una probabilidad mínima de ocupación del 60%, basados en modelos de regresión logística para fragmentos de bosque la Amazonia brasilera.

** De acuerdo a revisión bibliográfica (Benchimol & Peres, 2015).

3.2. Parámetros del modelo y preparación de la información

El análisis de la conectividad del área de interés se realizó aplicando un modelo de grafos probabilístico, para las cuatro especies definidas pertenecientes a tres rangos de dispersión (corto medio y alto). El modelo tuvo en cuenta la dificultad de atravesar la matriz para el flujo de los individuos entre los nodos mediante la construcción de una superficie de resistencia o fricción y empleando distancias medias de dispersión para estos tres grupos obtenidas de la literatura. La metodología general empleada para las áreas de estudio 1 y 2 se muestra en la Figura 5 y para el área de estudio 3 se muestra en la Figura 6.

El insumo principal para construir el modelo fue el mapa de coberturas de la tierra del 2014 Escala 1:25.000 generado para la zona específica del proyecto. Para evitar que los resultados fueran sesgados por el límite del área del proyecto, y teniendo en cuenta que los fragmentos que allí se encuentran pueden aportar para la conectividad de otros parches de buena calidad en los alrededores del proyecto, se incluyeron las coberturas circundantes en los cuatro municipios, obtenidas del mapa de coberturas de la tierra Corine Land Cover escala 1:100.000 del 2014 (Sinchi, 2016)(Figura 2), ya que no se contaba con información de la misma escala. Cabe anotar que el área mínima de mapeo de las coberturas 1:25.000 es de una hectárea, mientras que para el mapa 1: 100.000, es de 25 ha. Las coberturas de estos mapas fueron utilizadas para definir los nodos y las superficies de resistencia.

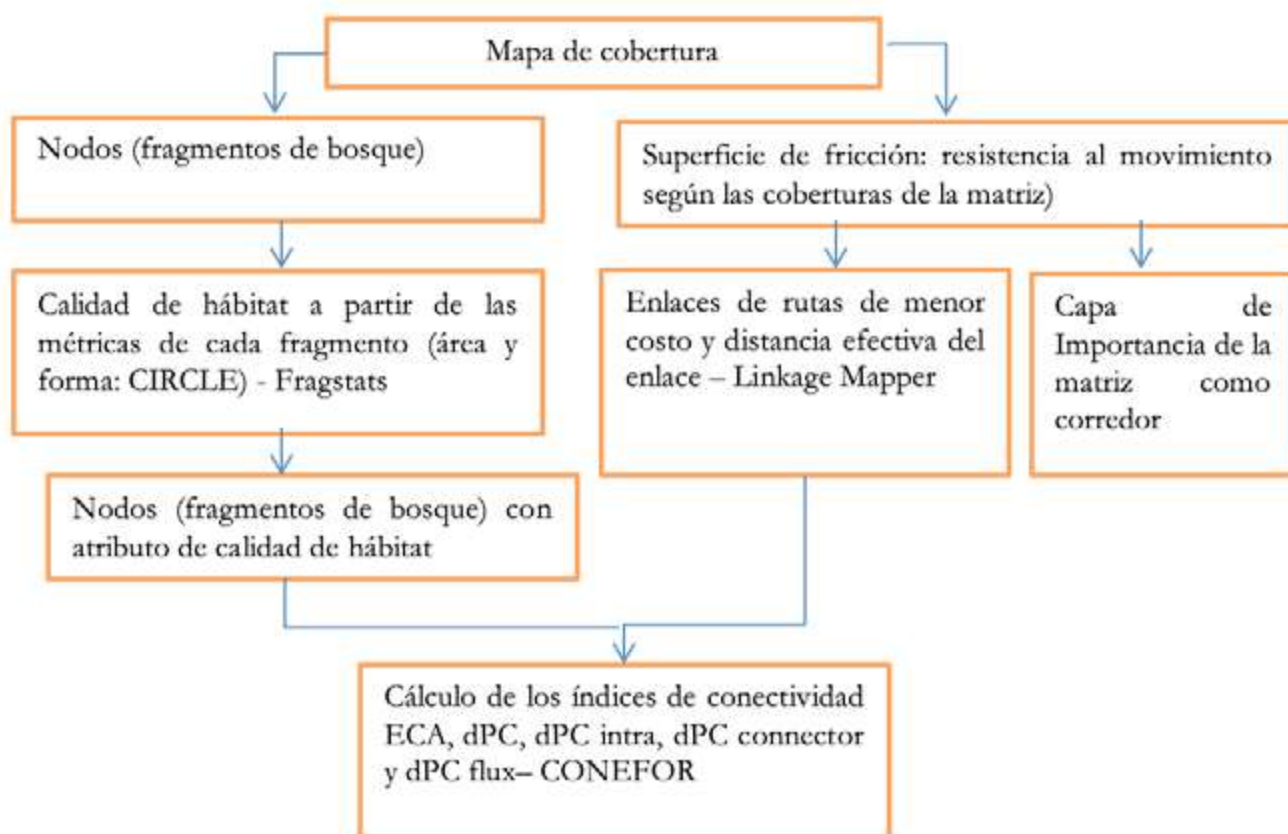


Figura 5. Metodología general empleada para el análisis de la conectividad en las áreas de estudio 1 y 2.

3.2.1. Definición y calidad de los nodos

Los nodos corresponden a los polígonos de bosque del mapa de coberturas 2014 tipificados como bosque alto de tierra firme, bosque de galería asociado a vegetación alta, bosque denso inundable heterogéneo y bosque secundario o degradado, este último identificado únicamente en la cartografía 1:25.000 de la zona del proyecto; para el área de estudio 3 se establece también como nodos, la vegetación secundaria o en transición.

De acuerdo con los resultados de (Benchimol & Peres, 2015) en fragmentos de bosque de la Amazonia, estas cuatro especies son sensibles al área (especialmente el cajúche) y presentan diferentes requerimientos al respecto (Tabla 1), por lo cual el área hizo parte del atributo de cada nodo. Sin embargo, existen datos que sugieren que el borde y el área central de los fragmentos puedan influir en la calidad del hábitat. Aunque con datos de solo cuatro fragmentos, (Yara, 2015) estableció mediante observaciones de campo con fototrampeo que la abundancia del armadillo o gurre puede tener una correlación positiva con la cantidad de área central del fragmento y negativa con la distancia al fragmento más cercano. Un estudio a partir de rastros de mamíferos en un bosque de Puerto López en el departamento del Meta señaló que las huellas y madrigueras de la lapa y el armadillo, únicamente se encontraron presentes en el interior de los bosques, más no en los bordes (Guzmán-Lenis & Camargo-Sanabria, 2004). De esta forma la cantidad de área central (CORE) y de borde pueden estar influyendo en la calidad de hábitat de las especies. Teniendo en cuenta que los fragmentos más compactos tendrán una mayor área central y menos borde que los parches alargados y muy sinuosos, se incluyó una métrica de forma como parte del atributo de los nodos.

Para seleccionar la métrica de forma más apropiada, se tomó en cuenta los análisis de métricas del paisaje realizados en un área del proyecto en el departamento de Guaviare (Vergara, 2015), en el que se estimaron los índices de forma (SHAPE), radio de giro (GYRATE), círculo circunscrito relacionado (CIRCLE) y contigüidad (CONTIG) para 155 fragmentos de bosque. La selección de la métrica se basó en tres aspectos: i) la baja redundancia con el área, evaluada con un análisis de correlación producto -momento de Pearson (τ). ii) el significado e

interpretación del índice y iii) la capacidad de discriminar fragmentos con diferente forma en el área de análisis. De estos cuatro índices, CIRCLE ($\tau=0.1$, $p=0.2678$) y CONTIG. ($\tau=0.06$, $p=0.0533$) presentaron una menor correlación con el área. Los dos tienen la ventaja de tomar valores resultantes entre 0 y 1, lo cual hace más fácil su interpretación y su integración en un índice compuesto, mientras que GYRATE y SHAPE pueden tomar valores de 0 a infinito, afectando demasiado el valor de calidad de hábitat. Sin embargo, CONTIG presentó una muy baja variabilidad en los valores de los distintos parches por lo que no aporta mucha información al índice de calidad de hábitat, mientras que CIRCLE, que es una medida de la elongación total del parche (McGarigal, 2015) asignó valores diferenciales entre los fragmentos más compactos y los estrechos y alargados.

La variable CIRCLE fue estimada con el programa FRAGSTATS 4.2.1 (McGarigal, 2015); esta métrica toma valores de 0 a 1, donde 0 representa los fragmentos más semejantes a un círculo y 1 fragmentos más lineales. Para favorecer la condición de “circularidad” que tiene un valor de 0, se utilizó el valor inverso (1-CIRCLE); de esta forma la calidad de hábitat se asignó con el siguiente valor:

$$Q_{Habitat} = \text{Área (ha)} \times (1 - \text{CIRCLE})$$

Ecuación 5

Teniendo en cuenta los requerimientos de hábitat, los nodos de cada especie corresponden a aquellos fragmentos con áreas mayores a las reportadas como críticas en el estudio de (Benchimol & Peres, 2015). En el caso de las especies de dispersión corta, el área crítica para el armadillo es de 0,2 ha mientras que para la lapa es de 10 ha (Tabla 1); sin embargo casi la totalidad de los fragmentos de bosque cartografiados para el área del proyecto son mayores a 2,5 ha, cifra que coincide con el promedio de área de territorio de la lapa reportada en la bibliografía (Tabla 1). Con un enfoque conservador y para que el análisis fuese aplicable a las dos especies se tomó esta área como la mínima para definir los nodos, por lo que prácticamente todos los fragmentos fueron considerados en el modelo de estas dos especies.

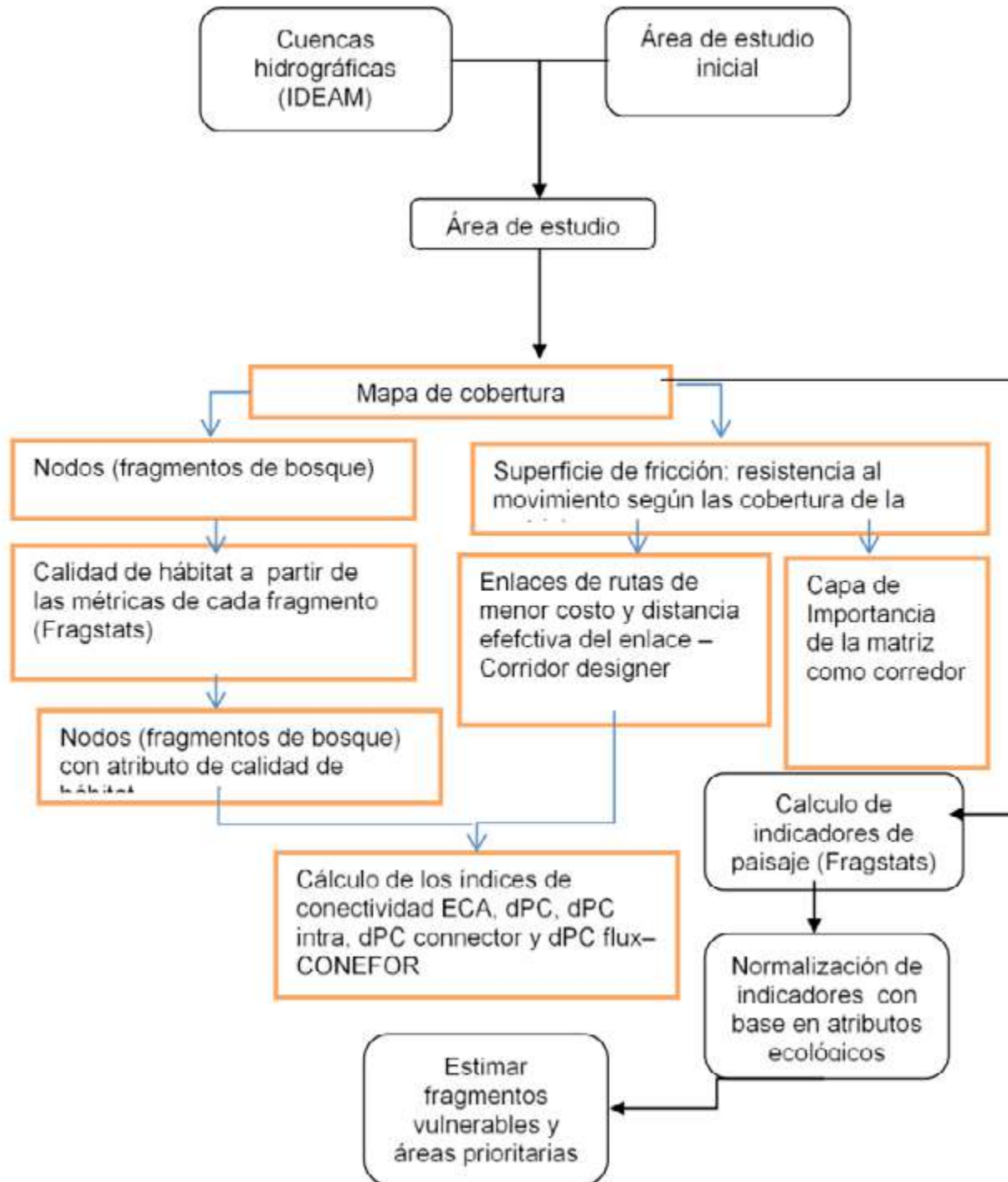


Figura 6. Metodología general empleada para el análisis de la conectividad en el área de estudio 3.

3.2.2. Superficie de fricción o resistencia

Para incluir la matriz dentro de los análisis de conectividad se construyó una superficie de fricción o resistencia. Como punto de partida para establecer los valores, se tomó en cuenta los datos asignados de manera concertada con los expertos para del ejercicio a escala 1:100.000 en la priorización de áreas del proyecto ((Mateus et al., 2018) Zonas_Prioritarias_V3) escalados a números entre 1 y 100. Así mismo se tomaron en cuenta los datos de requerimientos o preferencias de hábitat encontrados en la literatura para estas especies, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Esta superficie se construyó asignando un valor de resistencia de 1 a 100 a las superficies con cobertura vegetal, donde uno representa ninguna resistencia (bosques) y 100 la resistencia máxima (Tabla 2), para las áreas sin vegetación se utilizaron valores entre 100 y 500.

- A las coberturas con mayor altura y densidad se les asignó valores de resistencia menores, los cuales fueron aumentando a medida que baja la altura y estratos de la vegetación, ya que estas especies, sobre todo el gurre, la lapa y el Cajucho se encuentran asociados principalmente a vegetación densa y alta (Ver: Especies de interés para el análisis de la conectividad).

- A las coberturas naturales se les asignó menores valores de resistencia que a las agropecuarias y a las artificializadas. Por ejemplo, a los herbazales sin arbustos y con arbustos y árboles se les asignó una menor resistencia que a los pastos limpios o con rastrojos, ya que las primeras constituyen una cobertura por las que naturalmente se han movido estas especies y podrían tener una menor influencia de actividades antrópicas.

- Debido a que las coberturas de bosques fragmentados representan áreas de bosque mezcladas con otras coberturas no fueron incluidas como parte de los nodos (quedan como parte de la matriz). Estas coberturas

solo se encuentran en el área circundante del proyecto (mapa cobertura escala 1:100.000), ya que en el mapa de cobertura de la tierra 1:25.000 no se incluyeron los bosques fragmentados, sino que siempre se discriminó el bosque del resto de coberturas.

- Los cultivos asociados a especies arbóreas o de mayor altitud y cobertura, incluyendo la latifoliadas y las palmas se les asignó un valor de resistencia o fricción menor que el de los demás cultivos, ya que ofrecen mayor protección para el paso de las especies; existen estudios que reportan el paso de mamíferos a través de los cultivos de palmas (Pardo-Vargas & Payán-Garrido, 2015).

- Los pastos limpios representan la cobertura vegetal con mayor resistencia, debido al porte bajo y abierto de la vegetación, que además representa zonas extensas de la matriz.

- Aunque se recomienda asignar a los cuerpos de agua valores altos de resistencia (Gurrutxaga, Lidón Rubio, & Saura, 2011), ya que son considerados como barreras de dispersión para mamíferos terrestres (Cosson, Pons, & Masson, 1999), los datos de (Benchimol & Peres, 2015) muestran que existen registros de la dispersión de estas especies a través de cuerpos de agua mediante nado, de hecho los armadillos, una de las especies pequeñas, son capaces de nadar grandes distancias (McBee & Baker, 1982).

- A las vías se asignó un valor de resistencia menor que a los tejidos urbanos, ya que es posible ver que los mamíferos cruzan estas estructuras, especialmente en estas zonas donde las carreteras son destapadas y angostas. Así mismo, los tejidos discontinuos tendrían menor resistencia que los continuos, al tener elementos de coberturas vegetales mezclados.

- El zaño presenta una mayor adaptabilidad a las coberturas intervenidas, por lo que se asignaron valores de resistencia más bajos que las otras especies, especialmente a las coberturas secundarias y arbustos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se construyó la superficie de resistencia o fricción asignando los valores como se indica en la Tabla 2. La capa se estructuró en formato ráster, asignando un tamaño de pixel de 6m, muy similar al de las imágenes RapidEye usadas como insumo para el mapa de coberturas 1:25.000, esto con el fin de evitar que se perdieran elementos lineales, principalmente

las vías. Las Figuras 7 y 8 presentan las superficies de resistencias generadas según las coberturas de la tierra presentes para el armadillo, lapa y cajucho, para las áreas de estudio 1 y 2, respectivamente. La Figura 9 presenta la superficie de resistencia para el armadillo y lapa del área de estudio 3.

Tabla 2. Valores asignados a las coberturas para construir la superficie de resistencia.

Especie	Coberturas de la tierra (Mapa 1:25.000)	Resistencia lapa, armadillo, cajucho	Resistencia zaíno
Bosques	• Bosque denso alto de tierra firme	1	1
	• Bosques denso alto y bajo inundable heterogéneo		
	• Bosques intervenidos o secundarios de tierra firme e inundables		
	• Bosques de galería denso de tierra firme		
Bosques fragmentados	• Bosques fragmentados con pastos, cultivos y/o vegetación secundaria (zona circundante al proyecto)	5	2
Vegetación secundaria alta	• Vegetación secundaria o en transición alta inundable • Vegetación secundaria o en transición alta	10	5
Vegetación secundaria baja	• Vegetación secundaria o en transición baja	20	8
	• Bosque de galería asociada a vegetación secundaria		
	• Vegetación secundaria o en transición baja inundable		
	• Arbustales		
	• Vegetación secundaria (zona circundante de 100.000)		
Herbazales arbustos/arbolados	• Herbazal denso de tierra firme arbolado	30	10
	• Herbazal denso de tierra firme con arbustos		
	• Herbazal denso inundable arbolado		
Zonas arenosas	• Zonas arenosas naturales (en las vegas de ríos)	30	20
Herbazales no arbolados	• Herbazal denso de tierra firme no arbolado	40	20
	• Herbazal denso inundable no arbolado		

Espece	Coberturas de la tierra (Mapa 1:25.000)	Resistencia lapa, armadillo, cajuche	Resistencia zaño
Zonas pantanosas	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas pantanosas 	40	40
Cultivos permanentes	<ul style="list-style-type: none"> • Plantaciones de latifoliadas 	40	20
	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos permanentes arbóreos o arbustivos (cacao, p. ej.) 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Palma de aceite 		
Cuerpos de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Ríos 	50	50
	<ul style="list-style-type: none"> • Lagunas, lagos y ciénagas naturales 		
Mosaicos agropecuarios con espacios naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Mosaico de pastos con espacios naturales 	50	30
	<ul style="list-style-type: none"> • Mosaico de cultivos con espacios naturales 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Mosaico de cultivos y pastos con espacios naturales 		
Pastos enmalezados	<ul style="list-style-type: none"> • Pastos enmalezados 	50	30
	<ul style="list-style-type: none"> • Pastos arbolados Patos enmalezados o arbolados inundables 		
Cultivos transitorios herbáceos y/o	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos transitorios 	60	40
	<ul style="list-style-type: none"> • Mosaicos de cultivos 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Mosaicos de pastos y cultivos 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos permanentes herbáceas 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Arroz 		
Pastos limpios	<ul style="list-style-type: none"> • Pastos limpios inundables 	75	50
	<ul style="list-style-type: none"> • Pastos limpios 		
Zonas quemadas	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas quemadas 	100	100
	<ul style="list-style-type: none"> • Tierras desnudas y degradadas 		
Áreas artificializadas	<ul style="list-style-type: none"> • Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 	250	250
	<ul style="list-style-type: none"> • Tejido urbano discontinuo 	300	300
	<ul style="list-style-type: none"> • Estanques acuicultura 	300	300
	<ul style="list-style-type: none"> • Tejido urbano continuo 	500	500

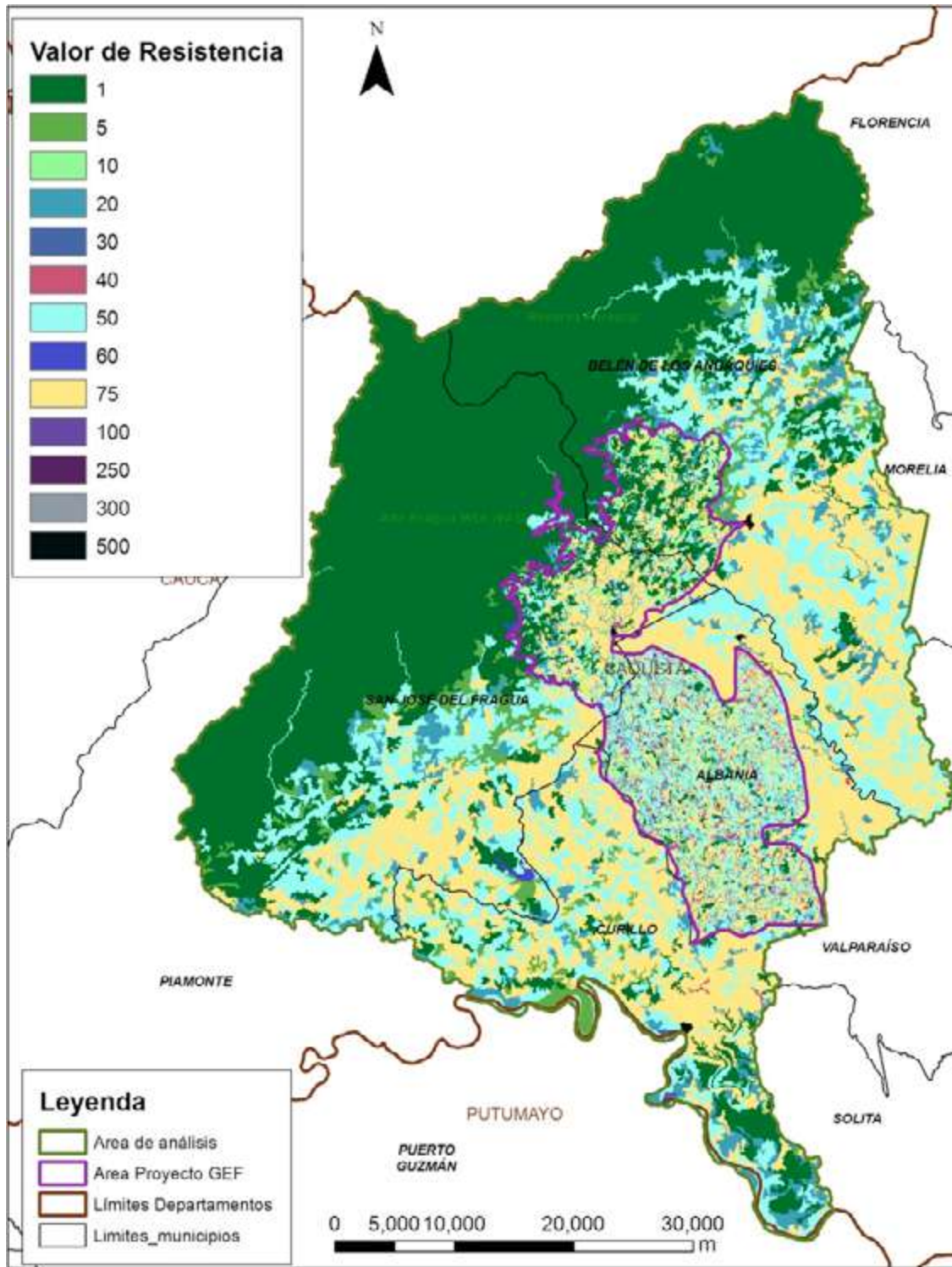


Figura 7. Superficie de resistencia según las coberturas de la tierra presentes para el armadillo, lapa y cajucho para el área de estudio 1.

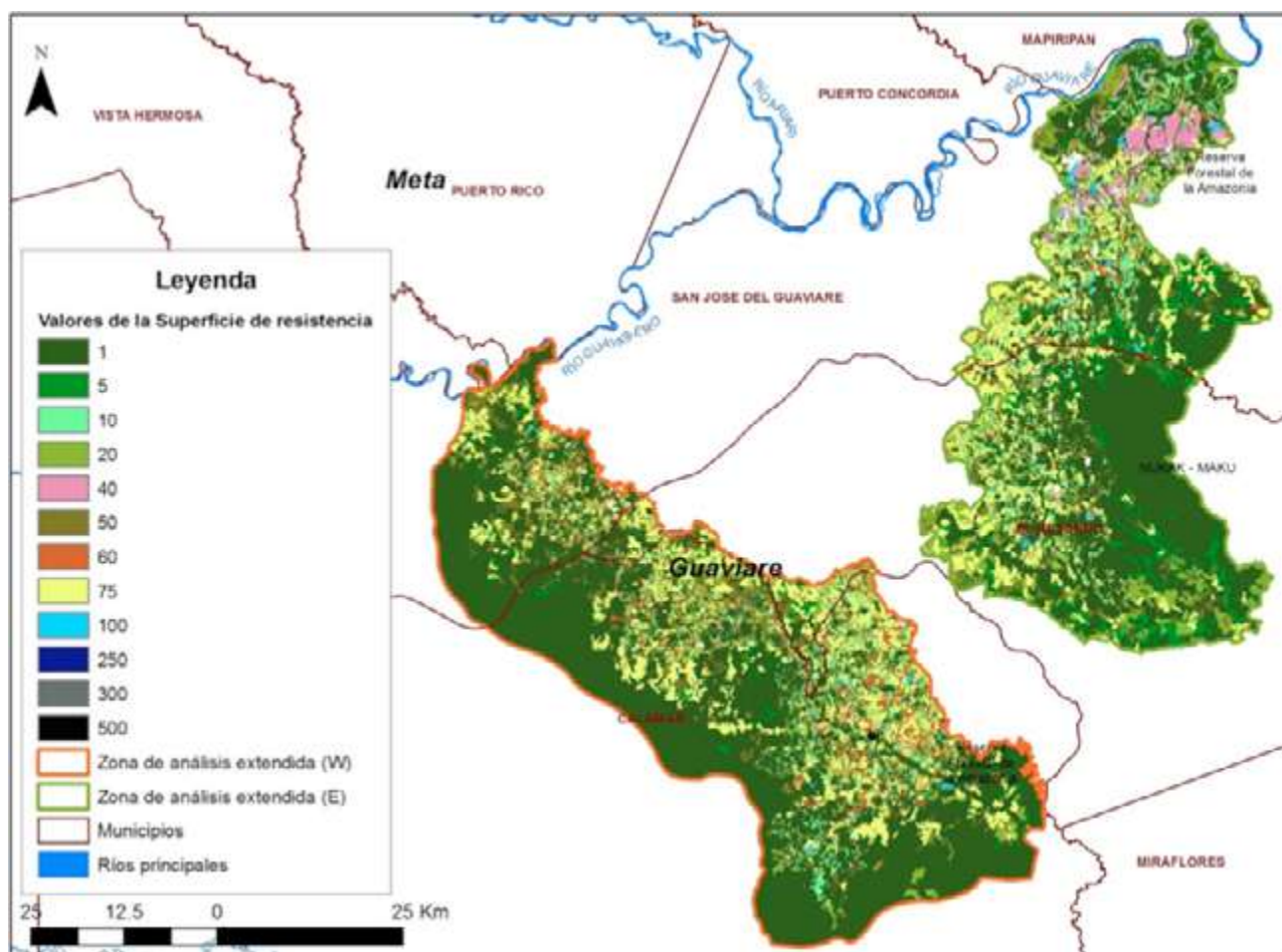


Figura 8. Superficie de resistencia según las coberturas de la tierra presentes para el armadillo, lapa y cajucho para el área de estudio 2.

3.2.3. Construcción de los enlaces, sus atributos y las zonas de mayor valor como corredores

La construcción de los enlaces o conexiones y los atributos o pesos de las mismas se realizó con la herramienta Linkage Mapper 1.0.9, para las áreas de estudio 1 y 2 y con la herramienta Corridor Designer (Majka, Jenness, & Beier, 2007) para el área de estudio 3.

Linkage Mapper 1.0.9 determinó, a partir de la capa de nodos y la superficie de resistencia, la ruta de menor costo acumulado entre cada par de nodos, para el caso de las áreas de estudio 1 y 2, se permitió que el programa trazara enlaces que pasen por otros nodos o fragmentos de bosques, ya que esta situación es más natural que la opción de restringir los enlaces únicamente a rutas que atraviesen

la matriz evitando cruzar por otro parche de bosque que se encuentre en el camino. El programa calcula la distancia efectiva (valor acumulado de la ruta de menor costo) para cada par de nodos, eliminando aquellos enlaces más costosos y alejados entre sí.

Por otro lado, Corridor Designer evita tener que restringirse a una caracterización de un corredor como un camino de costo mínimo de un único píxel de anchura, permitiendo seleccionar zonas de bajo costo y suficiente anchura (situados o no en torno al camino de mínimo costo) y que puedan en la práctica servir de corredores efectivos para la especie o especies de interés. Complementariamente permite valorar la distancia que tendrían que recorrer los individuos para desplazarse de unas zonas de hábitat a otras a través de esas franjas o corredores, así como

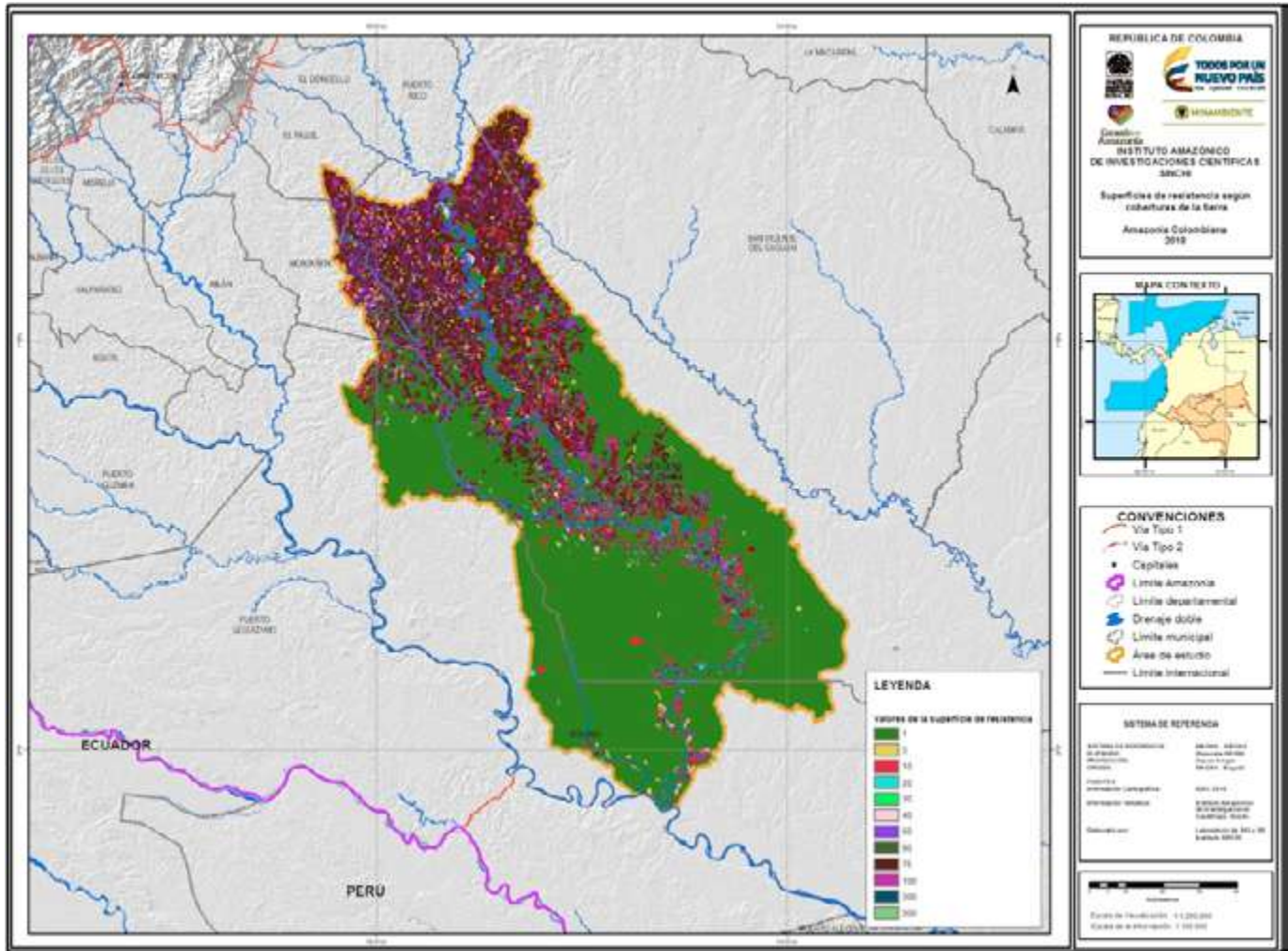


Figura 9. Superficie de resistencia según las Coberturas de la Tierra presentes para el armadillo y lapa para el área de estudio 3.

identificar qué puntos a lo largo de las mismas pueden actuar como cuellos de botella o zonas más vulnerables por contar con una menor anchura de zonas de bajo costo favorables para la dispersión. Finalmente, también ayuda a identificar, más allá del óptimo desde el punto de vista biológico, otros corredores alternativos con características relativamente buenas (dado que en la práctica no todas las propuestas serán igualmente posibles o factibles a la hora de implementarlas sobre el terreno), así como a comparar la calidad de estos otros corredores con el óptimo identificado inicialmente.

La construcción de los enlaces o conexiones y los atributos o peso de las mismas para el área de estudio 3, se realizó

con la herramienta Corridor Designer. A partir de la capa de nodos y la superficie de resistencia, el programa determinó la ruta de menor costo acumulado entre cada par de nodos, en este caso se permitió que el programa trazara enlaces que pasen por otros nodos o fragmentos de bosques, ya que esta situación es más natural que la opción de restringir los enlaces únicamente a rutas que atraviesen la matriz evitando cruzar por otro parche de bosque que se encuentre en el camino. Dicho análisis se realizó solo para los valores de las especies de dispersión corta (armadillo y lapa), ya que de esta manera se consideran casi todos los fragmentos de bosque existentes en el área de estudio, permitiendo incluir parches de bosques pequeños que se encuentran repartidos por toda la zona.

3.3. Cálculo de las medidas de conectividad

El cálculo de los índices o medidas de conectividad del Modelo probabilístico de grafos se realizó con la herramienta Conefor 2.6 (Saura. & Torné, 2009), tomando como insumos los nodos con el valor de calidad de hábitat asociado y los enlaces derivados en Linkage Mapper y Corredor Designer, con la distancia efectiva de cada uno.

El modelo probabilístico también requiere definir la distancia de dispersión y la probabilidad a la que equivale dicha distancia, la cual será de 0.5 si se toma en cuenta la mediana de la distancia o una probabilidad mayor en caso de que se utilicen los valores máximos de dispersión. Como no se tienen los datos de las distancias de dispersión para las 4 especies, se utilizó como medida de esta distancia el diámetro del área territorial de cada una, asumiendo una forma circular (Tabla 3). Debido a que estas distancias son euclidianas y las de los enlaces estimados con Linkage corresponden a distancias efectivas no lineales, la distancia de dispersión obtenida del diámetro se multiplica por el valor de la mediana de la resistencia en la Superficie de

fricción; como resultado el umbral de la distancia efectiva se alcanza cuando la probabilidad de dispersión entre diferentes nodos es de 0,5. (Saura & Pascual-Hortal, 2007).

Los índices o métricas de conectividad estimados para cada parche y en total para todo el paisaje fueron los siguientes (descritos en el capítulo uno).

Índices de paisaje

- Delta del Índice de Probabilidad de Conectividad dPC y fracciones de la conectividad dPC_{intra}, dPC_{flux} y dPC_{connector} totales para todo el paisaje

Índices para cada fragmento

- Delta del Índice de Probabilidad de Conectividad dPC por fragmento
- Fracción dPC_{intra}: Para cada fragmento
- Fracción dPC_{flux}: Para cada fragmento
- Fracción dPC_{connector}: Para cada fragmento

Para el área de estudio 3 solo se calcularon los índices para cada fragmento.

Tabla 3. Áreas territoriales promedio reportados en la literatura y recopilados por Benchimol & Peres (2015) utilizadas para determinar la distancia de dispersión.

Especie	Área territorial promedio – Home Range (ha)*	Distancia de dispersión (m)**
Armadillo (<i>Dasybus novencintus</i>)	3,4	208,1
Lapa (<i>Cuniculus paca</i>)	2,46	177,0
Zaíno (<i>Pecari tajacu</i>)	500	2523,1
Cajucho (<i>Tayassu pecari</i>)	2970	6149,4

* De acuerdo a revisión bibliográfica (Benchimol & Peres 2015)

**Corresponde al diámetro del área territorial promedio, si se asume una forma circular.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados para el área de estudio 1: zona en el departamento del Caquetá.

4.1.1. Número de fragmentos y calidad

Tanto en el área total del paisaje analizado como en la zona específica del proyecto, la cantidad de hábitat disponible varía notoriamente entre los tres grupos. Para las especies pequeñas, de dispersión corta y requerimientos de área menor (armadillo y lapa) existe una mayor cantidad de fragmentos de bosque con características de hábitat potencial (309 en el área total de análisis, de los cuales el 68% se encuentra dentro del área del proyecto). Por su parte, teniendo en cuenta el área crítica de hábitat para el zaíno según (Benchimol & Peres, 2015), el número de fragmentos de hábitat potencial para esta especie se reducen a 40, de los cuales tan sólo 8 se encuentran dentro del área del proyecto, sumado al bosque que hace parte de la reserva forestal y el PNN Indi Wasi.

En el caso del cajúche, y de acuerdo al área crítica estimada por el mismo autor, la probabilidad de uso de hábitat en el área específica del proyecto se restringe al bosque de la reserva forestal (RF) y el parque nacional natural (PNN), y dos fragmentos adicionales que se encuentran en las zonas circundantes del área de análisis fuera de la zona del proyecto (Tabla 4, Figura 10).

En cuanto a la calidad del hábitat, los mejores fragmentos dentro del área del proyecto (mayor extensión y forma compacta) se encuentran cerca del bosque de la RF y el PNN, mientras que en la parte sur de menor altitud (municipio de Albania), la mayoría de los parches están categorizados en clases de menor calidad, incluso varios de ellos corresponden a bosques clasificados como secundarios o degradados. En el resto del área de análisis existen otros fragmentos de buena calidad ubicados en el río Caquetá, San José de Fragua y Belén de los Andaquíes (Figura 11).

Tabla 4. Número total de fragmentos de bosque de hábitat (nodos) para cada especie de acuerdo al área crítica o rango de hábitat empleados en el análisis y número que se encuentran dentro del área específica del proyecto

Especie		Número de fragmentos*	Rango área
			(ha)*
Dispersión corta: Armadillo (<i>Dasyfus novencintus</i>) y Lapa (<i>Cuniculus paca</i>)	Área extendida de análisis	309	2,4 - 1432
	Área del proyecto	209	2,4 - 417,3
Dispersión media: Zaíno (<i>Pecari tajacu</i>)	Área extendida de análisis	40	112-1432
	Área del proyecto	8	114,5 – 417,3
Dispersión larga: Cajúche (<i>Tayassu pecari</i>)	Área extendida de análisis	2	1263-1432
	Área del proyecto	0	

*En los datos de la tabla no se incluye el bosque que hace parte de la reserva Forestal y el Parque Nacional Natural Indi Wasi, el cual no es un fragmento en sí sino un bosque continuo. Sin embargo, para el cálculo de los índices si fue incluido ya que constituye un elemento importante de la conectividad del área.

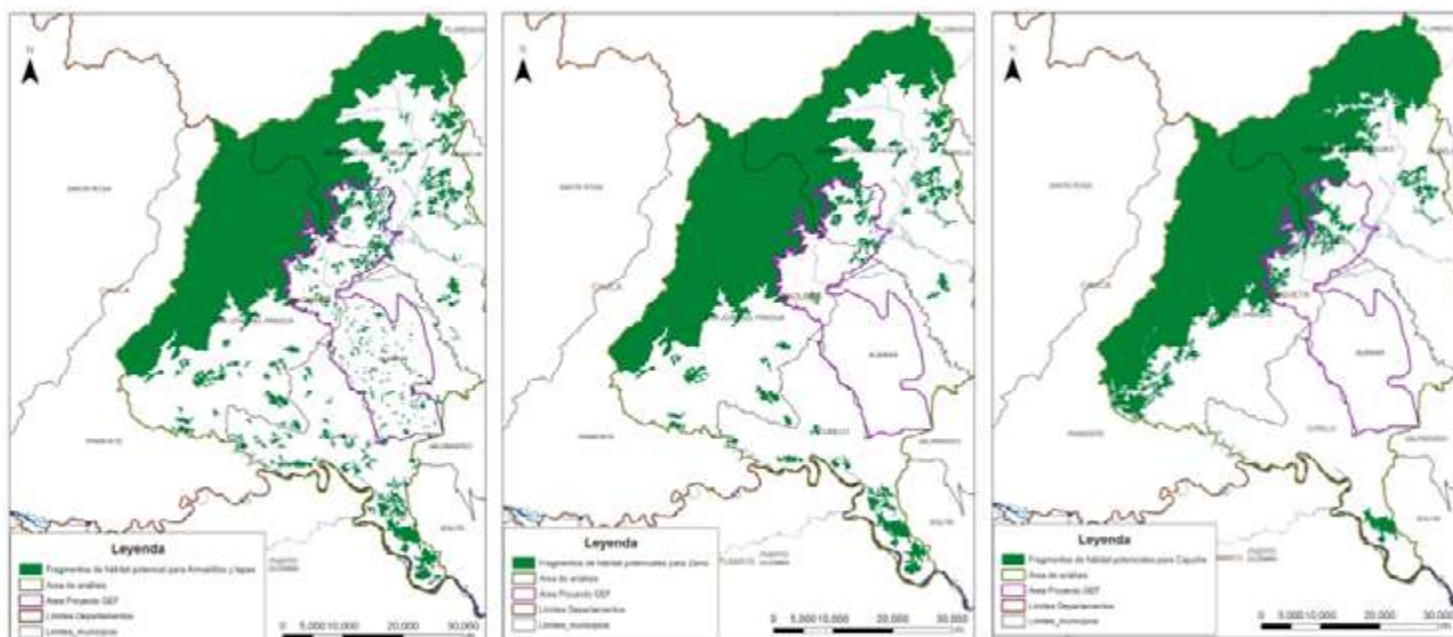


Figura 10. Fragmentos de hábitat potencial para el armadillo y la lapa (izquierda), zaino (centro) y cajuche (derecha), de acuerdo con las áreas críticas para cada especie reportadas por (Benchimol & Peres, 2015)

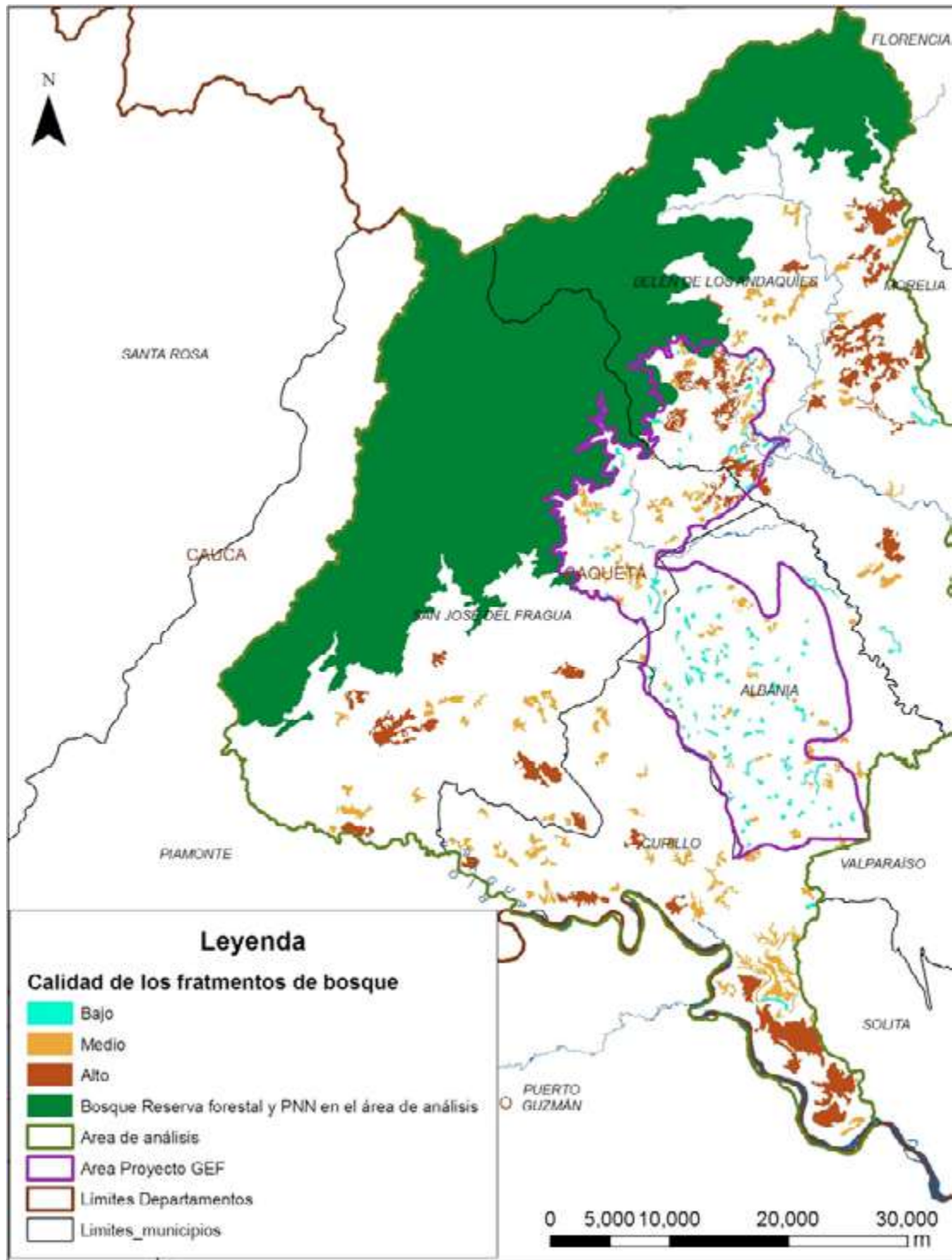


Figura 11. Calidad de hábitat de los fragmentos derivada a partir del área (ha) y el índice de círculo circunscrito relacionado (CIRCLE). La representación de las tres clases se realizó con el método de clasificación de Intervalos geométricos.

4.1.2. Importancia de los fragmentos de hábitat para la conectividad

El índice de conectividad dPC (delta del índice de conectividad) para cada fragmento representa la importancia relativa del parche (fragmento) o nodo, es decir en qué proporción la conectividad total se afectaría si se elimina dicho fragmento, o, dicho de otro modo, que tanto aporta a la conectividad total. Este dPC corresponde a la sumatoria de tres fracciones o componentes: i) dPC_{intra}, que cuantifica el valor del parche como hábitat, ii) dPC_{flux}, que mide la posibilidad de acceder desde y hacia otros parches de buena calidad y iii) dPC_{connect} que determina la importancia como punto de paso o conectividad entre varios fragmentos de acuerdo a su posición espacial sin importar su calidad.

Los valores de importancia de cada fragmento fueron agrupados en tres clases (muy alto, alto y medio) utilizando el método de intervalos geométricos de Arcgis, el cual minimiza la suma de cuadrados de los elementos de cada clase, garantizando que cada rango de clase tenga un número similar de valores y que el cambio entre

intervalos sea coherente. No se categorizaron fragmentos de importancia baja, porque en gran parte del área del proyecto los relictos presentes son los únicos fragmentos de bosque disponible para la fauna, lo que constituye per se un valor importante para la fauna. Por otra parte, debido a la extensión notoriamente superior de los bosques de la RF y el PNN Indi Wasi comparada con los demás fragmentos, esta área de bosque presentó un dPC de orden muy superior (correspondería a un dato atípico o extremo); por lo tanto, la agrupación de rangos se realizó sin tener en cuenta este bosque para evidenciar la variabilidad que existe entre los demás parches y la importancia de cada componente de la conectividad se analizó con y sin este bosque.

Los resultados muestran que en el área de análisis, la mayor contribución de los fragmentos a la conectividad de las tres especies está dada por su valor como hábitat potencial (dPC_{intra}), resultado altamente influenciado por los bosques de la RF/PNN que brindan una extensión de hábitat considerable para las 4 especies, especialmente al cafucho para el que solo se encuentran 3 bosques que cumplen con este requisito (Figura 10 y Figura 12). De otro lado, la contribución relativa para garantizar el flujo

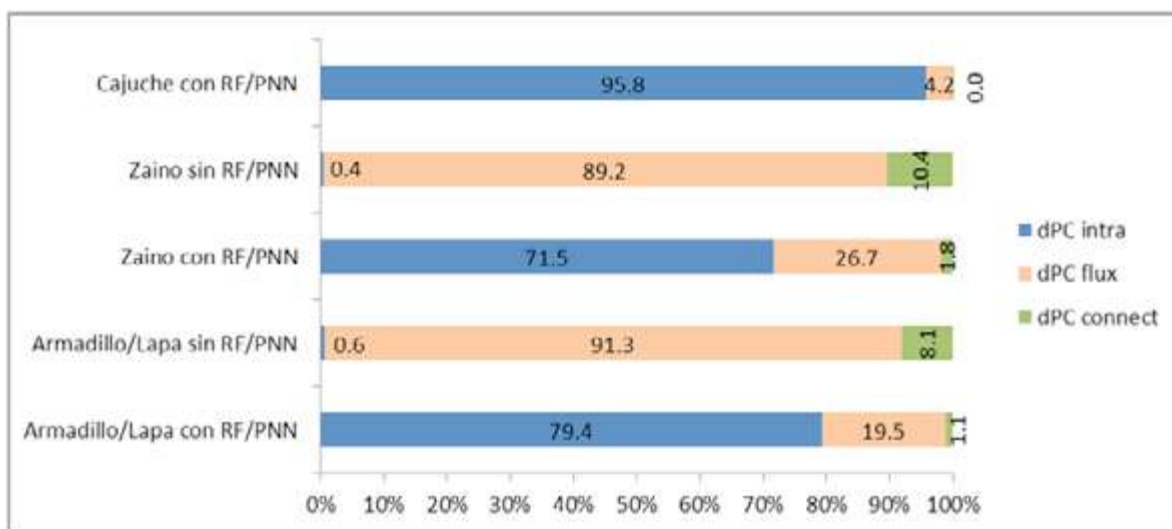


Figura 12. Contribución de cada fracción dPC intra, flux y connect a la conectividad total (dPC) para el área de análisis de Caquetá en los escenarios de cada especie. Teniendo en cuenta el alto valor del bosque de la reserva forestal y el PNN Indi Wasi, se muestran la importancia de cada fracción con y sin estos bosques. Para el cajucho, donde únicamente hay dos fragmentos adicionales con el área requerida, se indican los resultados con la RF y el PNN

de las especies entre fragmentos es baja (dPCconnect del 1,8% para el zaíno, 1,1% para armadillo/lapa y nula para el cajuche), ya que a pesar de que las especies más grandes tienen mayores distancias de dispersión, así mismo requieren de fragmentos más extensos y por lo tanto tienen una menor cantidad de parches con potencial de hábitat en el paisaje, los cuales se encuentran alejados entre sí. Al analizar los resultados sin tomar en cuenta el bosque de la RF/PNN para observar cómo se comporta el resto de los fragmentos, se observa que en términos generales la mayor contribución a la conectividad está dada por la función que brindan algunos para el paso desde y hacia otros parches de calidad (dPCflux, Figura 12).

En síntesis, el modelo sugiere que los fragmentos actuales tienen un valor mayor en la conectividad como sitio de hábitat potencial para las especies, que como sitio de paso entre los diferentes fragmentos del paisaje, sin embargo existen fragmentos ubicados cerca de los bosques de la RF/PNN con una mejor calidad de hábitat y una posición que permite el movimiento entre ellos, representado en el índice como una mayor proporción de la fracción dPCflux (Figura 12).

4.1.2.1. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat de armadillo y lapa

Para las especies de dispersión corta (armadillo y lapa) los fragmentos más importantes en la conectividad total del área específica del proyecto son aquellos que se encuentran a mayor altitud, cerca de los bosques de la RF y el PNN en los municipios de San José de Fragua y Belén de los Andaquíes, mientras que los fragmentos de la parte baja (Albania) tienen una importancia menor por su tamaño y una mayor distancia entre parches (Figura 13); más aún, de acuerdo al mapa de coberturas de la tierra 1:25.000, muchos de estos fragmentos corresponden a bosques secundarios o degradados. En el área de análisis general existen otros fragmentos importantes en las cercanías al río Caquetá que aportan al hábitat y conectividad del paisaje; cabe anotar que la mayor concentración de fragmentos de calidad menor en el área específica del proyecto se debe a que para esta zona se cuenta con cartografía escala 1:25.000 en la que se incluyen coberturas de mínimo 1 ha, mientras que para las zonas contiguas la cartografía fuente es de escala 1:100.000, cuya área mínima de mapeo es de 25 ha.

El análisis del aporte de los tres componentes de la conectividad por separado, producen resultados similares. Los resultados de la fracción dPC intra señalan que los

fragmentos más importantes dentro del área del proyecto como sitio de hábitat se encuentran en las zonas altas cerca a los bosques de RF y el PNN (Figura 13). En cuanto al componente dPCflux, dentro del área del proyecto todos los fragmentos de los municipios de San José de Fragua y Belén de los Andaquíes muestran una mayor importancia relativa, ya que son fragmentos de mayor tamaño y están relativamente más cercanos entre sí permitiendo un mayor flujo de individuos entre bosques de mejor calidad (Figura 13). Finalmente, la fracción dPCconnector indica que solo unos pocos fragmentos brindan una probabilidad alta de movimiento de especies hacia otros parches, debido a que estas dos especies tienen un área territorial baja y los fragmentos en su mayoría se encuentran alejados entre sí (Figura 13).

Es importante aclarar que, aunque los fragmentos de mayor importancia en el área del proyecto se encuentran en la parte de mayor altitud de los municipios de San José de Fragua y Belén de los Andaquíes, los pequeños fragmentos de la zona baja de Albania y Currillo, constituyen el único hábitat disponible en la zona para estas y otras especies, por lo que su conservación y mejoramiento resultan importantes para mantener las especies que aún puedan encontrarse allí.

4.1.2.2. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat del zaíno

Por su parte para el zaíno, una especie de dispersión media, los fragmentos de hábitat con el área crítica reportada por (Benchimol & Peres, 2015) en la zona del proyecto se encuentran cerca al bosque de la RF / PNN, en los municipios de Belén de los Andaquíes y San José de Fragua, parches cuya importancia para la conectividad total (dPC) se clasificó como alta y muy alta (Figura 14). Respecto a las fracciones que aportan a la conectividad, algunos de los parches del área del proyecto tienen un valor alto por su calidad de hábitat (dPCintra), pero en general la facilidad para moverse entre todos los fragmentos (dPCconnect) no es buena, ya que si bien esta especie tiene áreas territoriales mayores a las de los armadillos y lapas, la distancia entre los fragmentos de hábitat puede ser mayor que la de su territorio. Combinando los aspectos de calidad y probabilidad de moverse entre fragmentos (dPCflux) se encuentra que esta es la fracción que más aporta a la conectividad total para esta especie, es decir

que entre los fragmentos de mayor calidad existe una mejor probabilidad de flujo de individuos. Fuera del área del proyecto, en las zonas circundantes tomadas en cuenta para el análisis existe una mayor cantidad de fragmentos con valores de importancia alta y muy alta para esta especie.

Cabe anotar que no necesariamente los zaínos están ausentes fuera de estos fragmentos de bosque, ya que estos mamíferos son tolerantes a coberturas alteradas, lo cual para el modelo se tomó en cuenta al aplicar valores menores de resistencia en las coberturas con vegetación de la matriz.

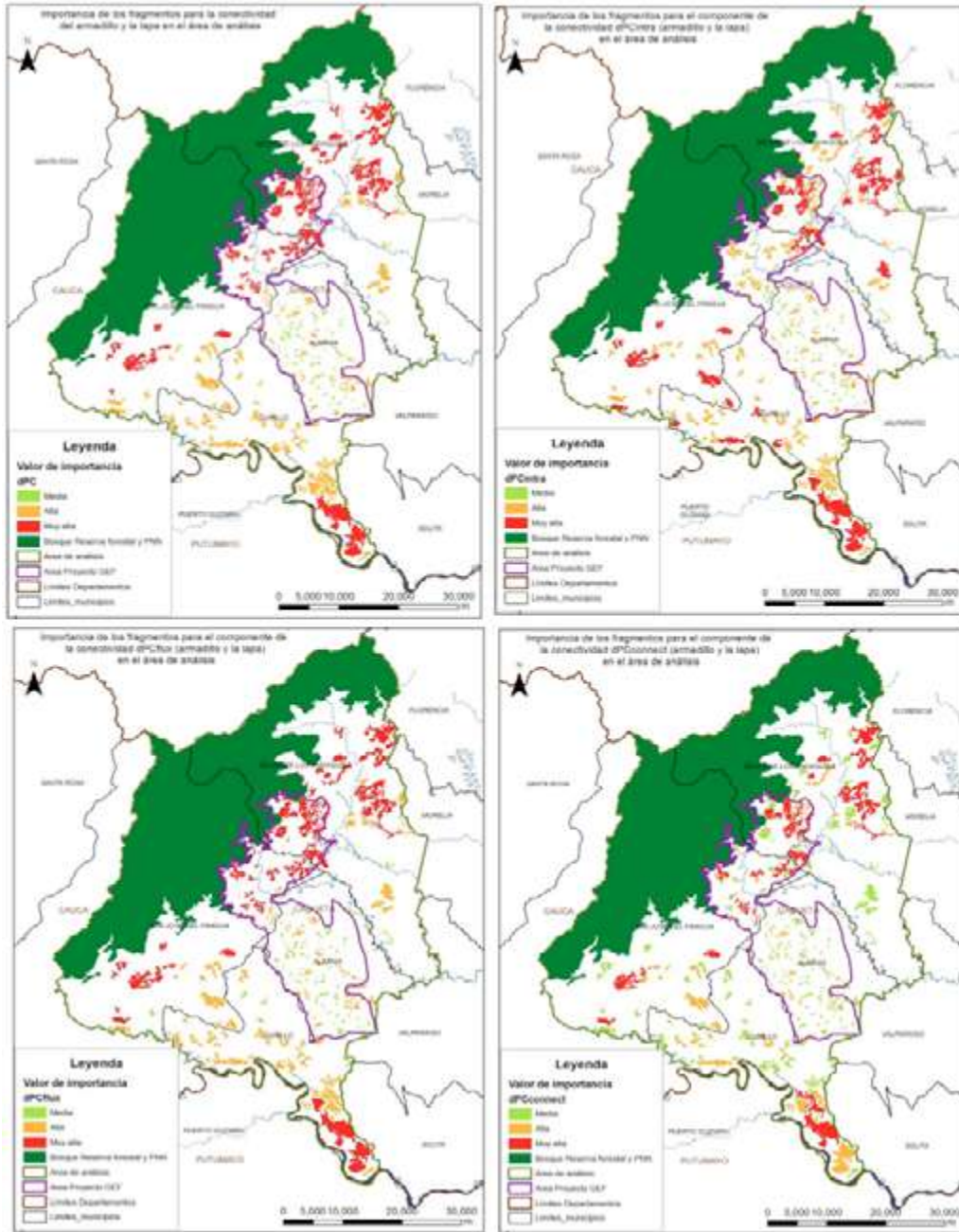


Figura 13. Importancia de los bosques para la conectividad de las especies de dispersión corta (armadillo, lapa) de acuerdo al valor del indicador dPC (arriba izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCIntra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dePC Conect (abajo derecha)

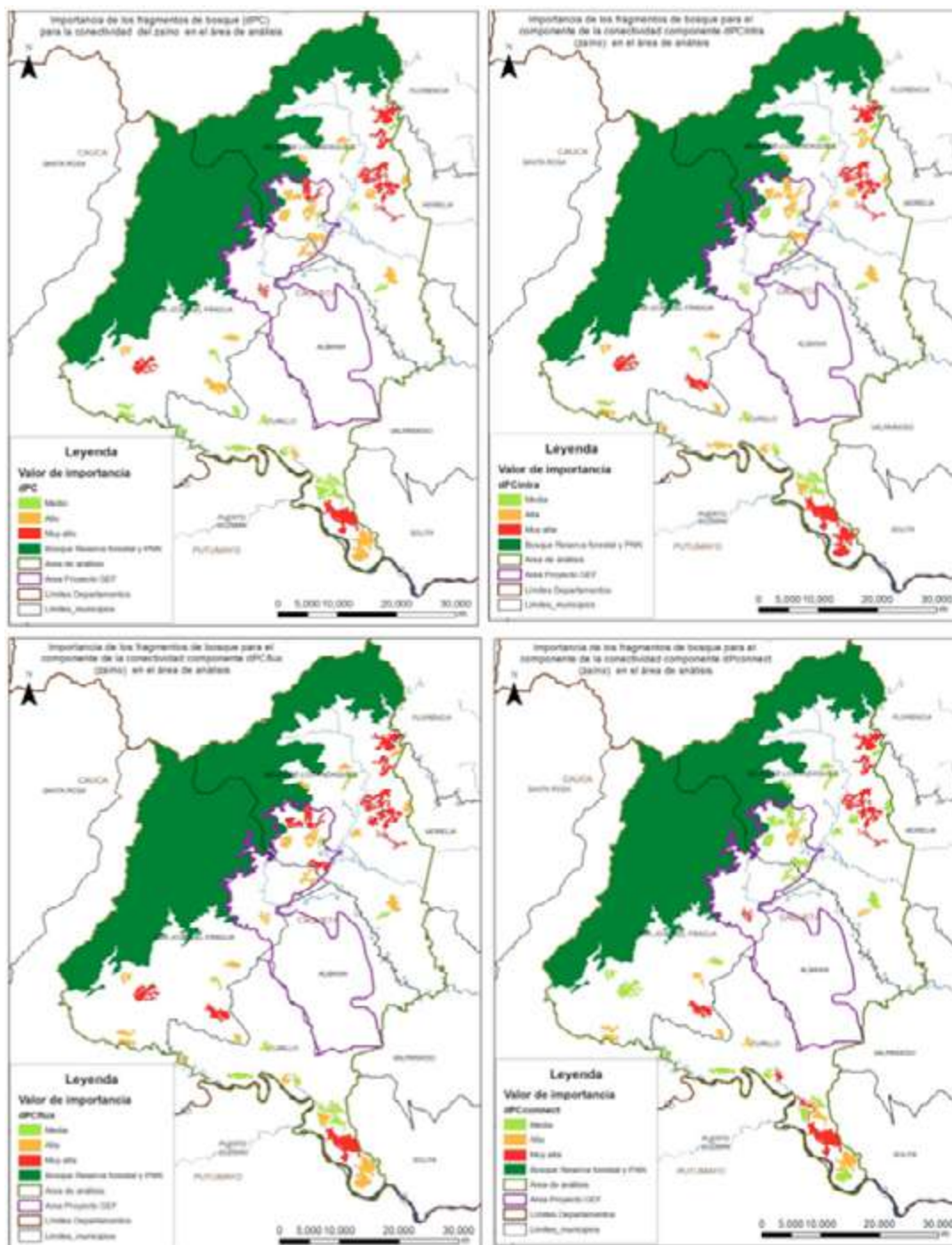


Figura 14. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaño) de acuerdo al valor del indicador dPC (arriba izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCIntra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dePC Connect (abajo derecha).

4.1.2.3. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat del cajúche

En el caso del cajúche, no se encuentran fragmentos de bosque dentro del área del proyecto (a parte del bosque de la reserva forestal y el PNN Indi Wasi) con el área crítica definida y solo dos en las zonas aledañas (Figura 10), que por lo tanto tendrían la categoría de muy alta.

4.1.3. Costo del movimiento a través de la matriz y rutas de menor costo

Linkage Mapper genera información adicional que resulta útil para el análisis y la priorización de los esfuerzos en el mantenimiento o mejora de la conectividad. Uno de los resultados es la superficie o mapa de corredores en el cual se incluye todas las rutas de menor costo identificadas entre cada par de fragmentos (una ruta por cada par de fragmentos) que son normalizadas para hacerlas comparables entre sí. Esta capa muestra el valor relativo de cada pixel de la matriz para la conectividad entre los nodos o fragmentos permitiendo identificar cuáles son las rutas o zonas que tienen más o menos características (coberturas en este caso) que facilitan o impiden el movimiento entre parches de bosque.

Esta superficie nos permite evaluar cuáles serían las zonas más críticas para atravesar la matriz según los criterios definidos. Generalmente estas zonas corresponden a sitios donde los fragmentos están más aislados y existen coberturas de mayor resistencia, como por ejemplo, los pastos limpios, las zonas de quema artificializadas o sin vegetación, etc. (áreas azul oscuro en las Figura 15, y Figura 16). En estas capas, el área específica del proyecto presenta una red más densa de zonas de mayor valor para la conectividad, debido a que se cuenta con información de coberturas a una escala más detallada.

Con este resultado es posible establecer las zonas donde se podrían implementar herramientas y acciones para disminuir la resistencia de la matriz y las áreas de menor costo entre fragmentos donde podrían llegar a establecerse corredores. Para la parte baja de la zona del proyecto esto puede llegar a ser más complejo ya que los fragmentos se encuentran muy separados entre sí, puede considerarse como otras posibles zonas de corredores el enriquecimiento y recuperación de los bosques asociados a corrientes de agua que comuniquen los fragmentos, entre otras cosas porque tanto el armadillo como la lapa y el zaino suelen moverse y permanecer en zonas cercanas a las fuentes de agua (Figura 17).

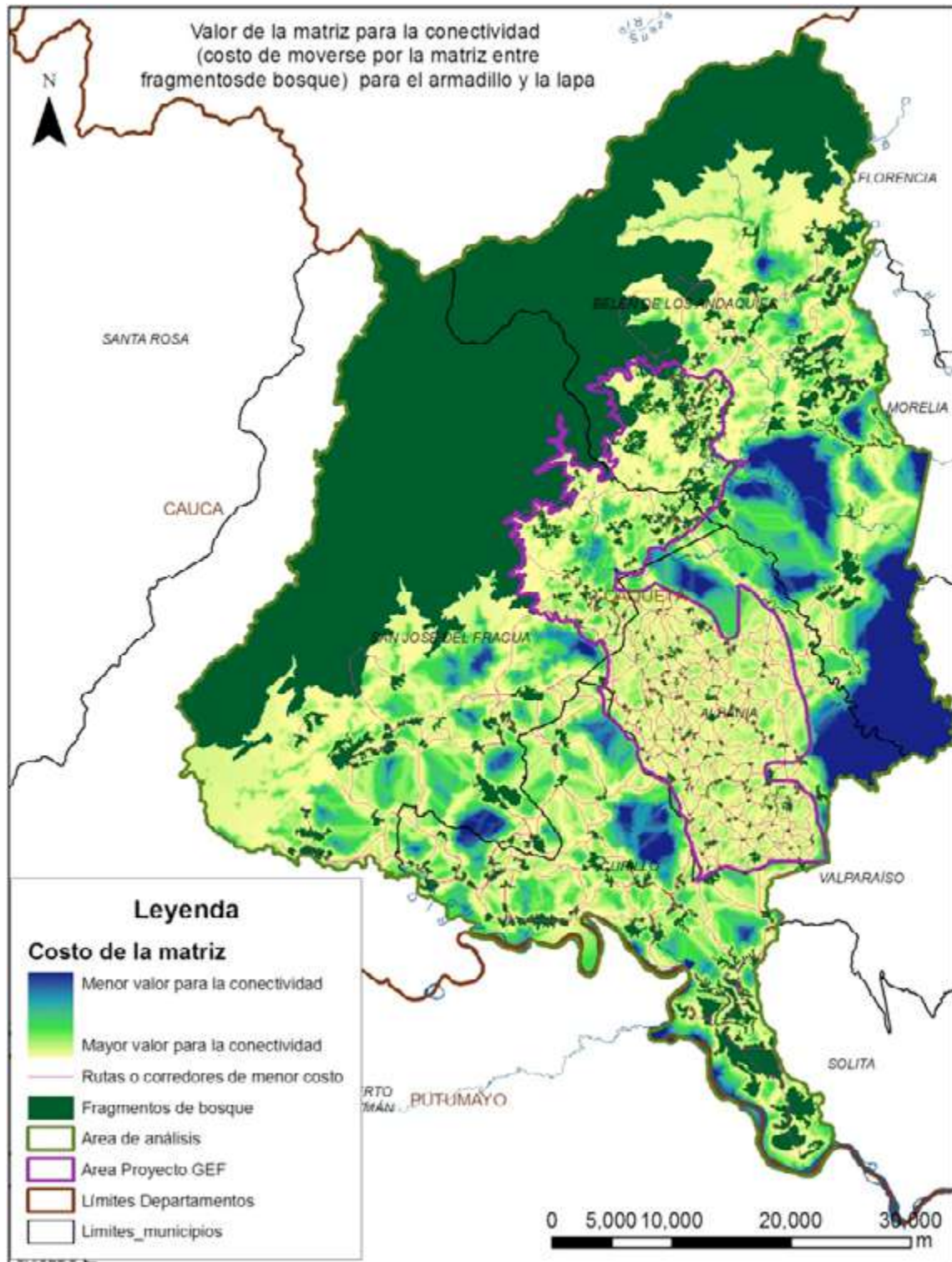


Figura 15. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse por la matriz entre fragmentos de bosque para el armadillo y lapa.

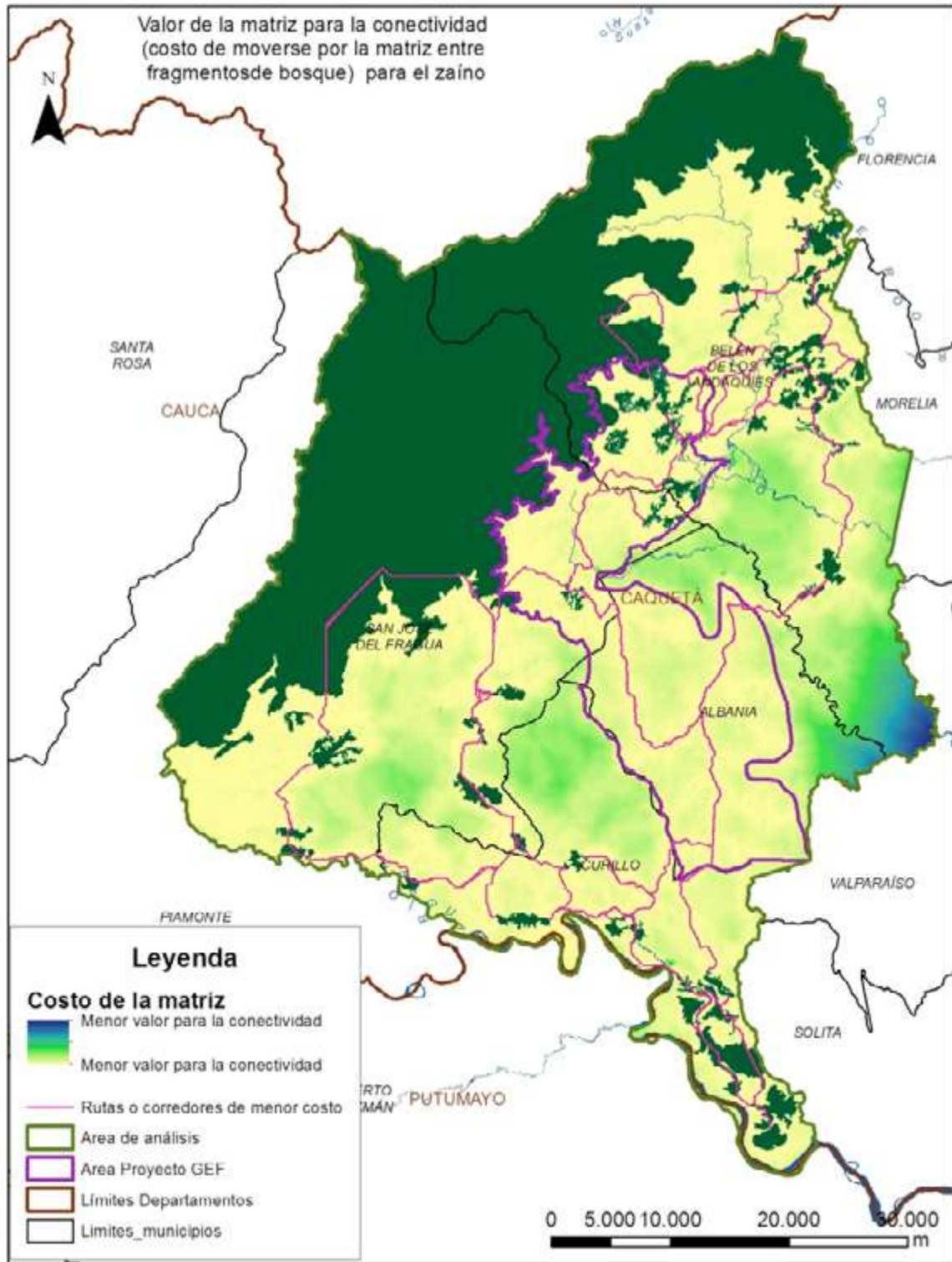


Figura 16. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse entre fragmentos de bosque para el zaíno.

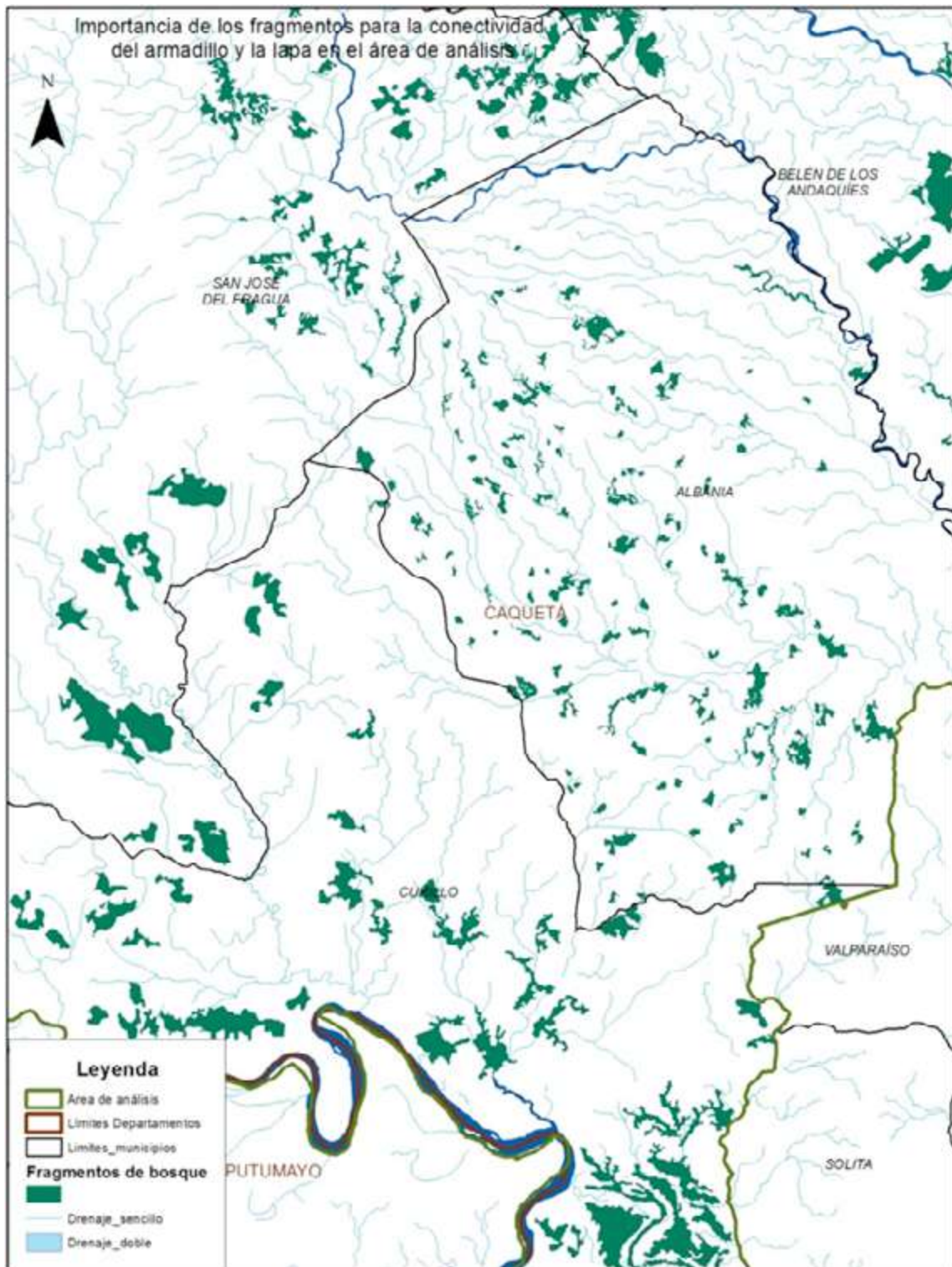


Figura 17. Drenajes y fragmentos de bosque. Aunque en la zona del proyecto del municipio de Albania los fragmentos están muy dispersos, el enriquecimiento de cursos de agua podría ser una buena opción como corredores para mejorar la conectividad.

4.2. Resultados para el área de estudio 2: Zona en el departamento del Guaviare

4.2.1. Número de fragmentos y calidad

Tanto en el área total del paisaje analizado como en la zona específica del proyecto de la zona oriental y occidental, la cantidad de hábitat disponible varía notoriamente según la especie. Para las especies pequeñas, de dispersión corta y requerimientos de área menor (armadillo y lapa) existe una mayor cantidad de fragmentos de bosque con características de hábitat potencial (254 y 221 en el área total de análisis de la zona oriental (E) y occidental (W) respectivamente, de los cuales el 82% y 88% se encuentra

dentro del área del proyecto. Por su parte, teniendo en cuenta el área crítica de hábitat para el zaíno según Benchimol & Peres (2015), el número de fragmentos de hábitat potencial para esta especie se reducen a 52 (E) y 47 (W), de los cuales sólo 38 y 41 se encuentran dentro del área del proyecto sin incluir el bosque que hace parte de la reserva forestal de la Amazonía (RFA) y la reserva indígena Nukak Maku (RNM). En el caso del cajúche, y de acuerdo al área crítica estimada por el mismo autor, la probabilidad de uso de hábitat en el área específica del proyecto se restringe al bosque de la RFA y el RNM, y dos fragmentos adicionales, uno de los cuales se encuentran dentro de la zona del proyecto (Tabla 5, Figura 18).

Tabla 5. Número total de fragmentos de bosque de hábitat (nodos) para cada especie de acuerdo al área crítica o rango de hábitat empleados en el análisis y número que se encuentran dentro del área específica del proyecto

Especie		Oriente (E)		Occidente (W)	
		Número de fragmentos*	Rango área (ha)*	Número de fragmentos*	Rango área (ha)*
Dispersión corta: Armadillo (<i>Dasypos novencintus</i>) y Lapa (<i>Cuniculus paca</i>)	Área extendida de análisis	254	3,1-13.796,6	220	2,5 - 139.921
	Área del proyecto	208	3,1-13.796,6	195	2,5 - 139.921
Dispersión media: Zaíno (<i>Pecari tajacu</i>)	Área extendida de análisis	52	114 - 13.796,6	46	115,4 -139.921
	Área del proyecto	38	114 - 13.796,6	40	115,4 -139.921
Dispersión larga: Cajúche (<i>Tayassu pecari</i>)	Área extendida de análisis	2	3.569-13.796,6	2	1.387-139.921*
	Área del proyecto	1	13.796,6	1	1.387-139.921*

*No se incluye en la tabla el conteo ni área del bosque que hacer parte de la Reserva Forestal de la Amazonía y/o reserva Indígena Nukak los cuales no son fragmento en sí sino un bosque continuo, aunque claramente por su área resultan como hábitat adecuado para cualquiera de las especies. Sin embargo, dada su importancia para la conectividad de la zona si fueron tenidas en cuenta para la estimación de las métricas.

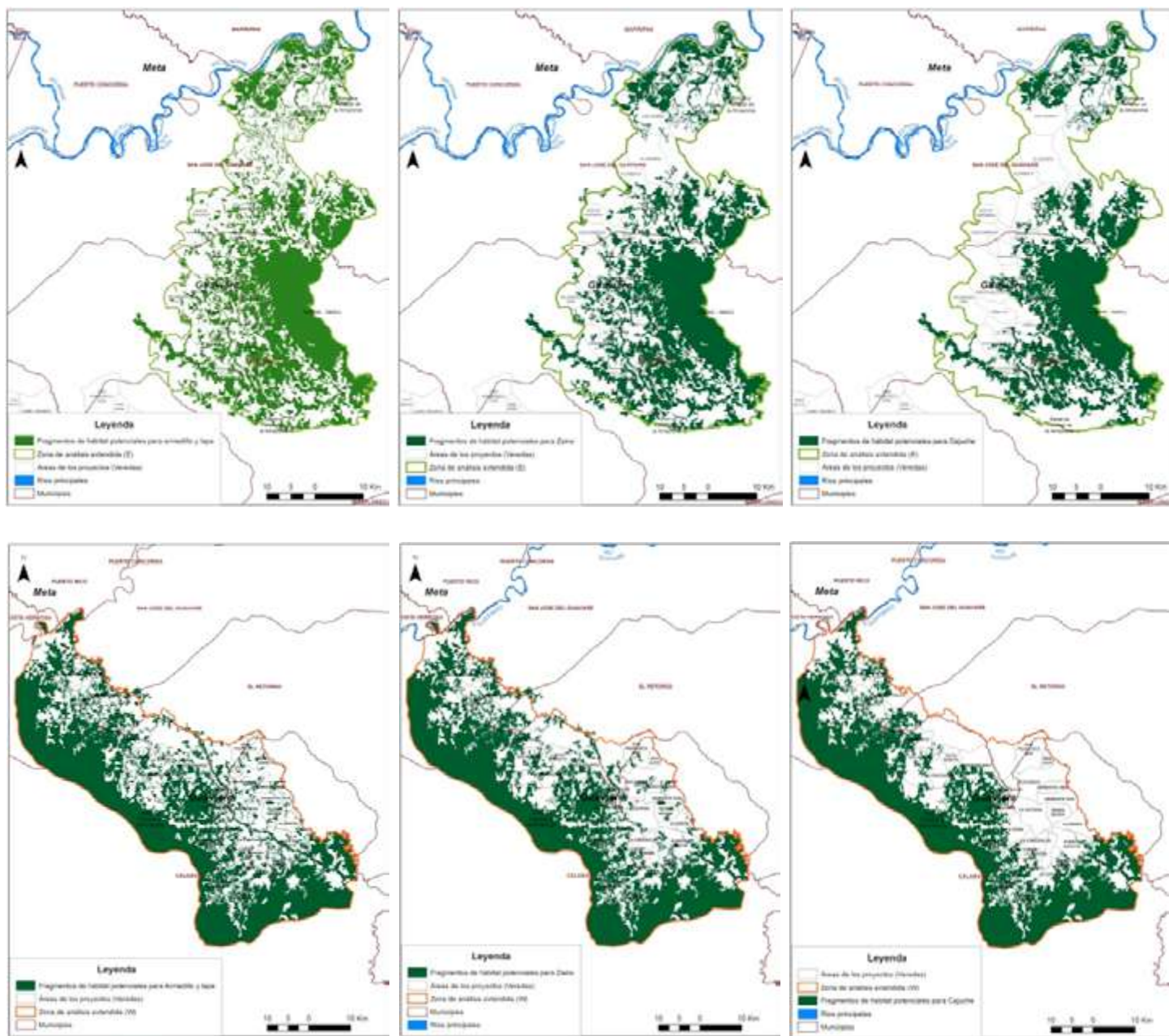


Figura 18. Fragmentos de hábitat potencial en la zona oriental (arriba) y occidental (abajo) para el armadillo y la lapa (izquierda), zaino (centro) y cajucho (derecha), de acuerdo con las áreas críticas para cada especie reportadas por (Benchimol & Peres, 2015).

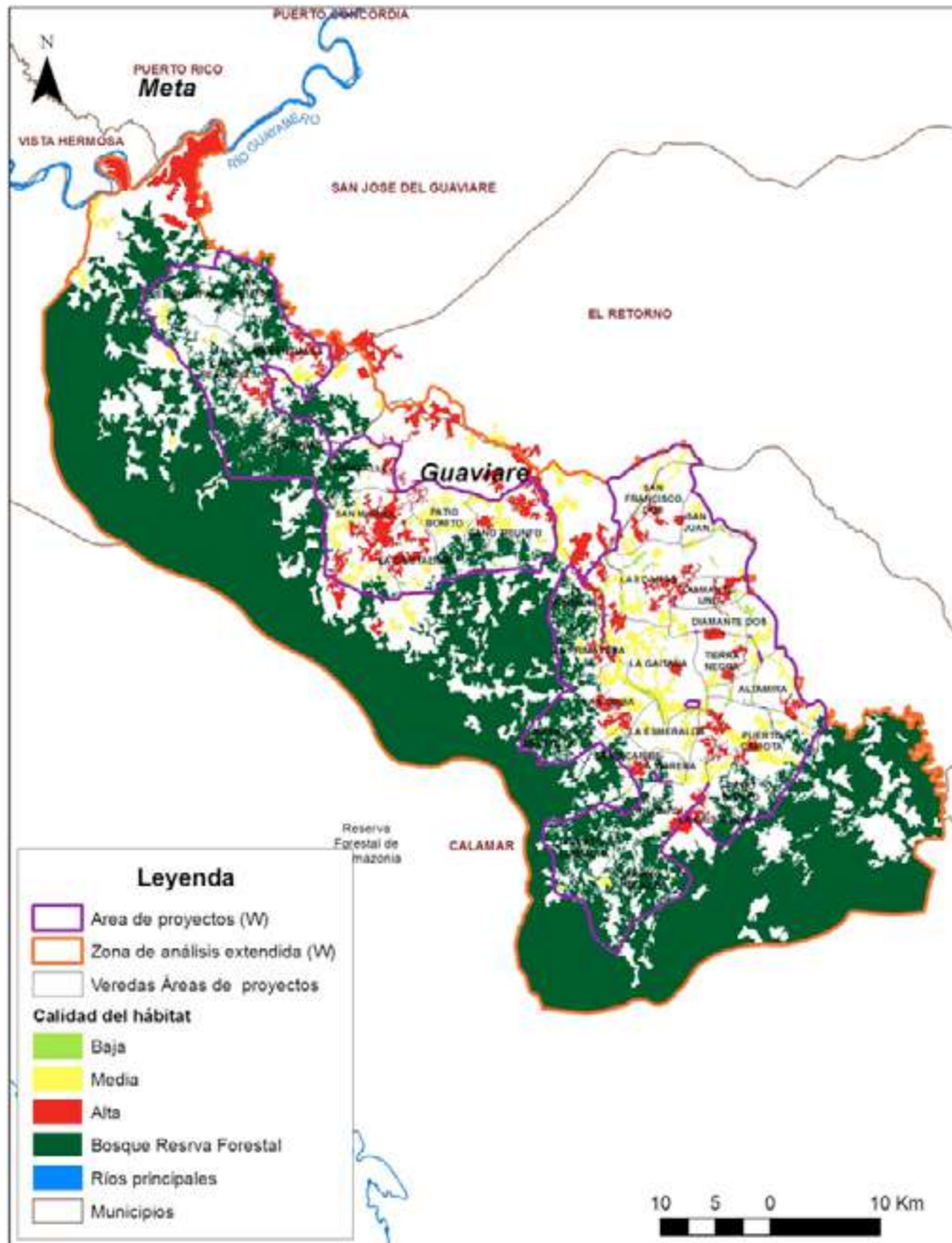


Figura 19. Calidad de hábitat de los fragmentos derivada a partir del área (ha) y el índice de círculo circunscrito relacionado (CIRCLE). La representación de las tres clases se realizó con el método de clasificación de Intervalos geométricos.

En cuanto a la calidad del hábitat, los mejores fragmentos dentro del área del proyecto (mayor extensión y forma compacta) se encuentran en la zona de Calamar y en las veredas de San Miguel, Caño Triunfo, La Cristalina y Mira Valle del municipio de El Retorno. Los fragmentos de menor calidad por su área y forma se encuentran más alejados de los bosques de la RFA y en su mayoría corresponden a segmentos de bosques riparios. En el resto del área de análisis existen otros fragmentos de buena calidad ubicados en el río Guayabero y en inmediaciones de los bosques de la RFA (Figura 19).

4.2.2. Importancia de los fragmentos de hábitat para la conectividad

Los valores de importancia de cada fragmento fueron agrupados en tres clases (muy alto, alto y medio) utilizando el método de intervalos geométricos de Arcgis. No se categorizaron fragmentos de importancia baja, porque en gran parte del área del proyecto los relictos presentes son los únicos fragmentos de bosque disponible para la fauna, lo que constituye per se un valor importante para la fauna. Por otra parte, debido a la extensión notoriamente superior de los bosques de la RFA comparada con los demás fragmentos, esta área de bosque presentó un dPC de orden muy superior (correspondería a un dato atípico o extremo); por lo tanto, la agrupación de rangos se realizó sin tener en cuenta este bosque para evidenciar la variabilidad que existe entre los demás parches y la importancia de cada componente de la conectividad se analizó con y sin este bosque.

Los resultados muestran que en el área de análisis, la mayor contribución de los fragmentos a la conectividad de las tres especies está dada por su valor como hábitat potencial (dPCintra), resultado altamente influenciados por los bosques de la RFA y la RNM que brindan una extensión de hábitat considerable para las 4 especies, especialmente al cafuche para el que solo se encuentran 3 bosques (incluida la RFA) que cumplen con este requisito en la zona occidental (Figura 18 y Figura 20).

De otro lado, la contribución relativa para garantizar el flujo de las especies entre fragmentos es baja (dPCconnect 3% para el zaíno, armadillo y lapa y nula para el cajuche), ya que a pesar de que las especies más grandes tienen mayores distancias de dispersión, así mismo requieren de fragmentos más extensos y por lo tanto tienen una menor cantidad de parches con potencial de hábitat en el paisaje, los cuales se encuentran alejados entre sí. Al analizar los resultados sin tomar en cuenta el bosque de la RFA para observar cómo se comporta el resto de los fragmentos, se encontró que la mayor contribución a la conectividad está dada por la función que brindan los fragmentos para el paso desde y hacia otros parches de calidad, especialmente en el zaíno, donde el valor de los fragmentos para la conectividad está dado en un 96.6% por esta fracción (dPCflux, Figura 20).

En síntesis, el modelo sugiere que los fragmentos actuales de la zona occidental tienen un valor mayor en la conectividad como sitio de hábitat potencial para las especies, que como sitio de paso entre los diferentes fragmentos del paisaje, sin embargo existen parches ubicados cerca de los bosques de la RF/PNN con una mejor calidad de hábitat y distancias con una mayor probabilidad de movimiento entre ellos, representado en el índice de conectividad en una alta proporción de la fracción dPCflux (Figura 20).

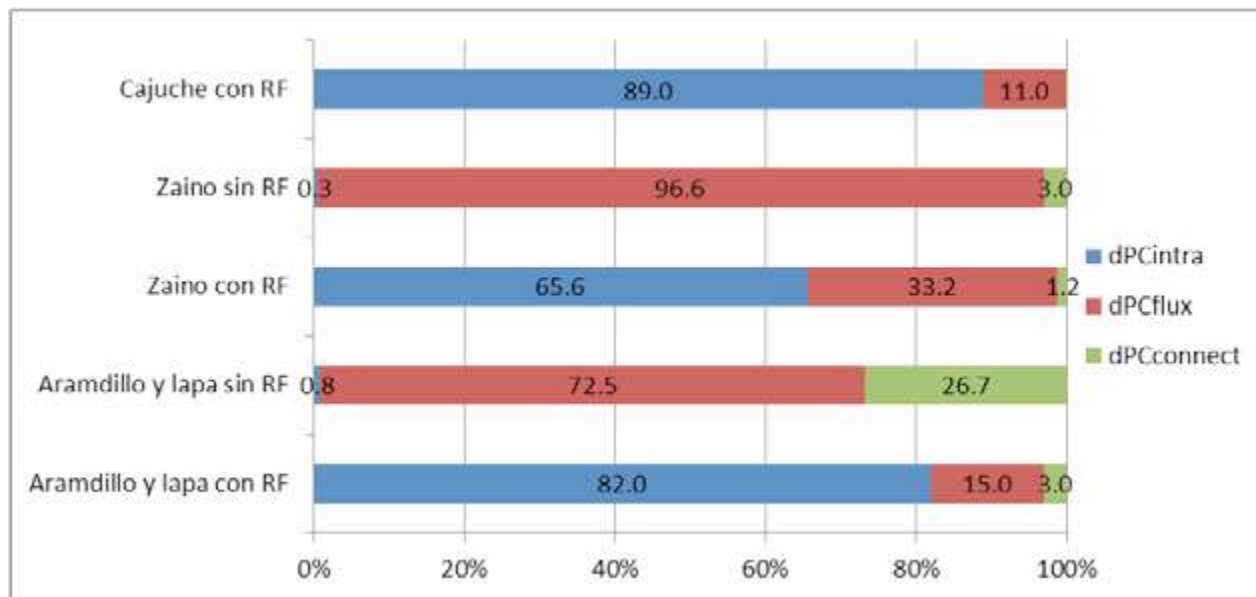


Figura 20. Contribución de cada fracción dPC intra, flux y connect a la conectividad total (dPC) para el área de análisis de la zona occidental de Guaviare en los escenarios de cada especie. Teniendo en cuenta el alto valor del bosque de la reserva forestal, se muestran la importancia de cada fracción con y sin estos bosques. Para el cajuche, donde únicamente hay dos fragmentos adicionales con el área requerida, se indican los resultados con la reserva forestal.

4.2.2.1. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat de armadillo y lapa

Zona occidental: Para las especies de dispersión corta (armadillo y lapa) los fragmentos más importantes en la conectividad total del área específica del proyecto son aquellos que se encuentran a mayor altitud, cerca de los bosques de la RFA en las veredas de Patio Bonito, San Miguel, La Cristalina, Caño Triunfo (El Retorno), Las Damas, Primavera y La Ceiba (Calamar); por su parte, los fragmentos más alejados de la RFA y de menor tamaño, correspondientes a segmentos de bosques riparios remanentes, tienen una menor importancia relativa para la conectividad menor (Figura 21). En el área de análisis general existen otros fragmentos importantes en las cercanías al río Guayabero que aportan al hábitat y conectividad del paisaje; cabe anotar que la mayor concentración de fragmentos de calidad menor en el área específica del proyecto se debe a que para esta zona se

cuenta con cartografía escala 1:25.000 en la que se incluyen coberturas de mínimo 1 ha, mientras que para las zonas contiguas la cartografía fuente es de escala 1.100.000, cuya área mínima de mapeo es de 25 ha.

El análisis del aporte de los tres componentes de la conectividad por separado muestra resultados similares a los de dPC total. La mayor parte de los fragmentos con importancia relativa total alta, presentan valores altos de dPC intra y flux, mientras que la fracción dPCconnector tiene valores relativos altos únicamente en los fragmentos que se encuentran contiguos a la RFA. (Figura 21).

Es importante aclarar que, aunque los fragmentos de mayor importancia en el área del proyecto se encuentran cerca de la RFA, los parches pequeños con importancia constituyen un hábitat potencial para estas y otras especies, por lo que su conservación y mejoramiento resultan importantes para mantener las especies que aún puedan encontrarse allí.

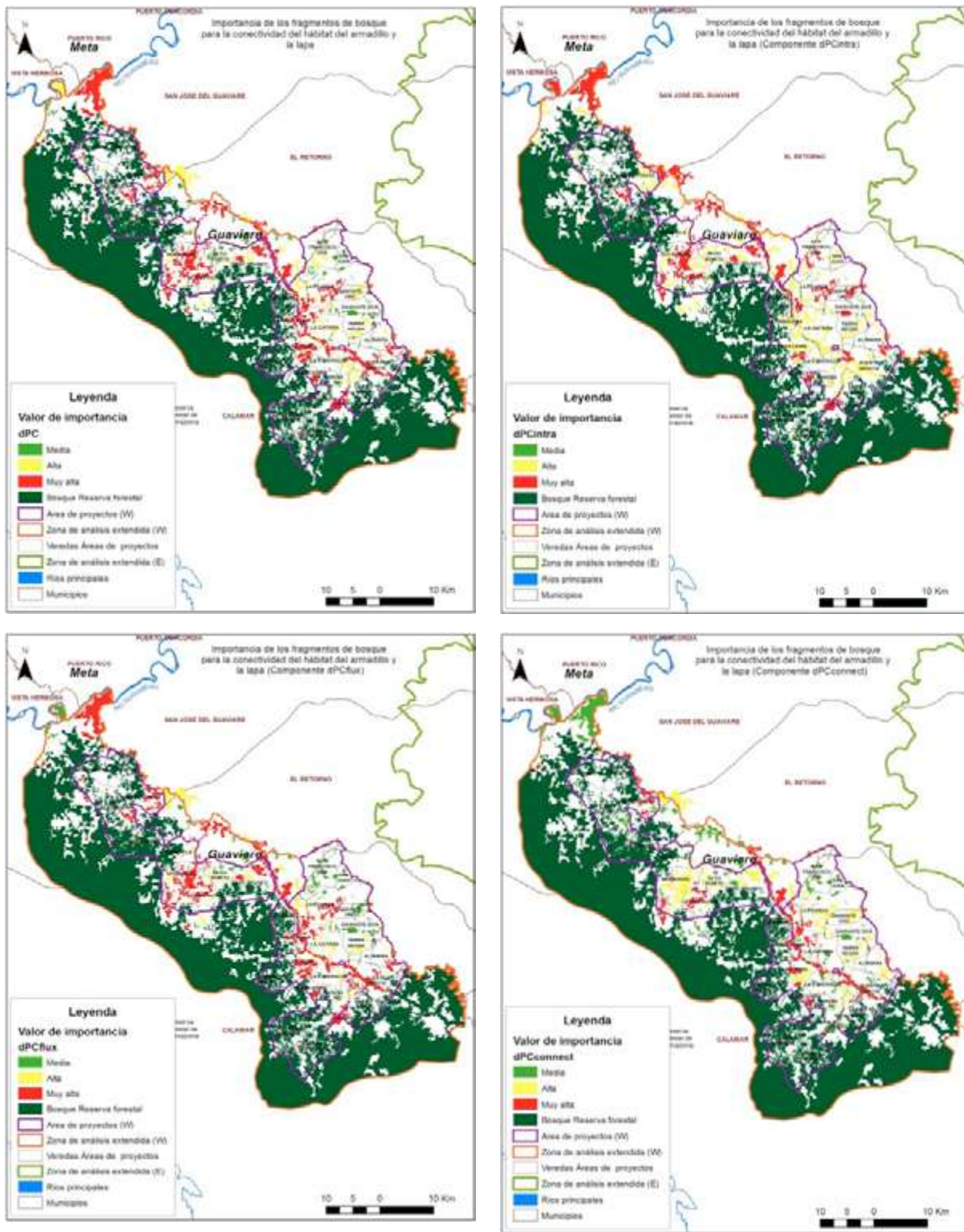


Figura 21. Importancia de los bosques para la conectividad de las especies de dispersión corta (armadillo, lapa) de acuerdo al valor del indicador dPC (arriba izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dPCconect (abajo derecha).

4.2.2.2. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat del zaino

Por su parte para el zaino, una especie de dispersión media, los fragmentos de hábitat con el área crítica reportada por (Benchimol & Peres, 2015) y clasificados con importancia muy alta para la conectividad (dPC) en la zona del proyecto se encuentran cerca al bosque de la RFA, en las veredas de San Miguel y Patio Bonito (El Retorno) y fuera del proyecto en los parches del río Guayabero. Por su parte, los fragmentos con una importancia asignada al rango alto se distribuyen por toda el área de estudio (Figura 22). Respecto a las fracciones que aportan a la conectividad, el resultado para las fracciones dPCintra y dPCflux es muy similar al de la conectividad total. Para el caso de la fracción dPCconnect, con un aporte relativo menor a la conectividad total, se encontraron fragmentos adicionales de importancia muy alta que deben ser tomados en cuenta a la hora de priorizar acciones de conservación, ya que es precisamente este aspecto de la conectividad (movimiento entre fragmentos) el más débil en la zona;

estos fragmentos se encuentran principalmente en Calamar, en las veredas Las Damas, Tierra Negra, Puerto Gaviotas, La Gaitana y Las Ceibas (Figura 22).

Cabe anotar que no necesariamente los zainos están ausentes fuera de estos fragmentos de bosque, ya que estos mamíferos son tolerantes a coberturas alteradas, lo cual para el modelo se tomó en cuenta al aplicar valores menores de resistencia en las coberturas con vegetación de la matriz.

4.2.2.3. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat del zaino

En el caso del cajúche, además de la RFA, únicamente se encuentra un fragmento de bosque dentro del área del proyecto con el área crítica definida para esta especie (Figura 18) y uno fuera del proyecto, que por tanto tienen una importancia muy alta para esta especie.

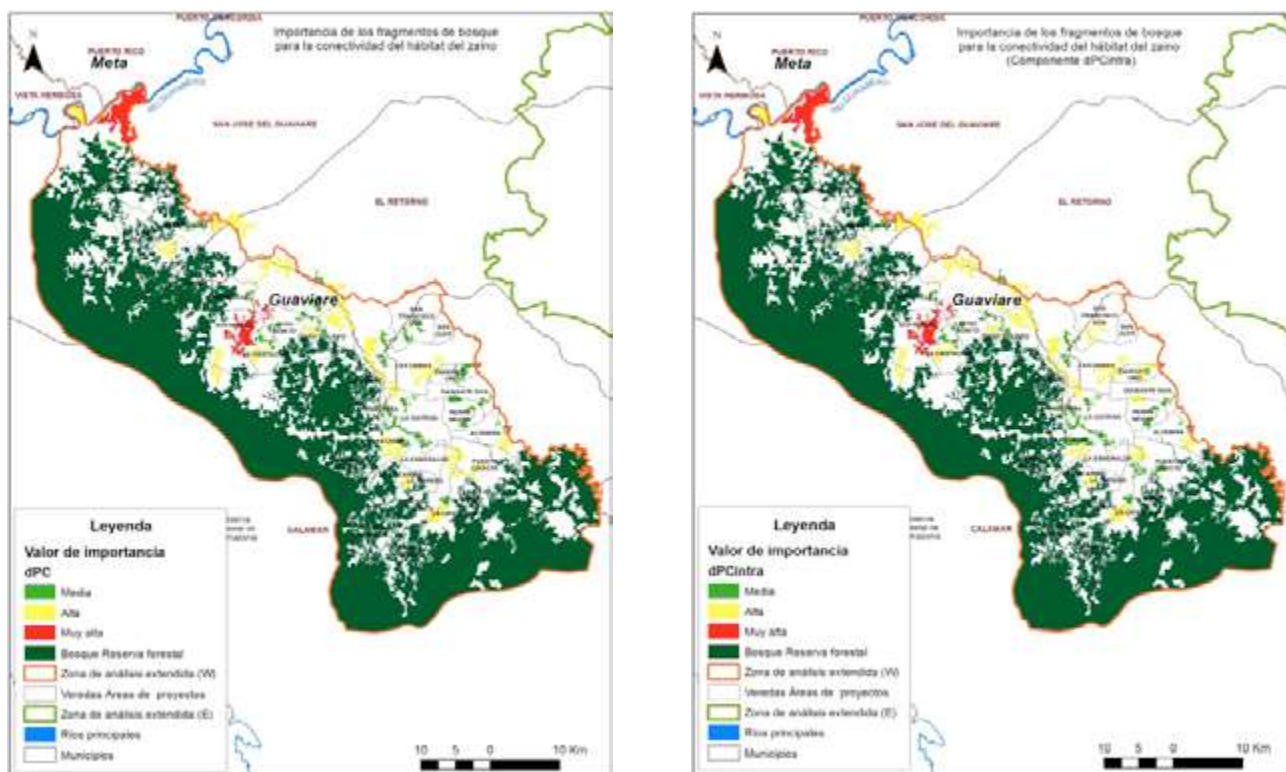


Figura 22a. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaino) de acuerdo al valor del indicador dPC (izquierda) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (derecha).

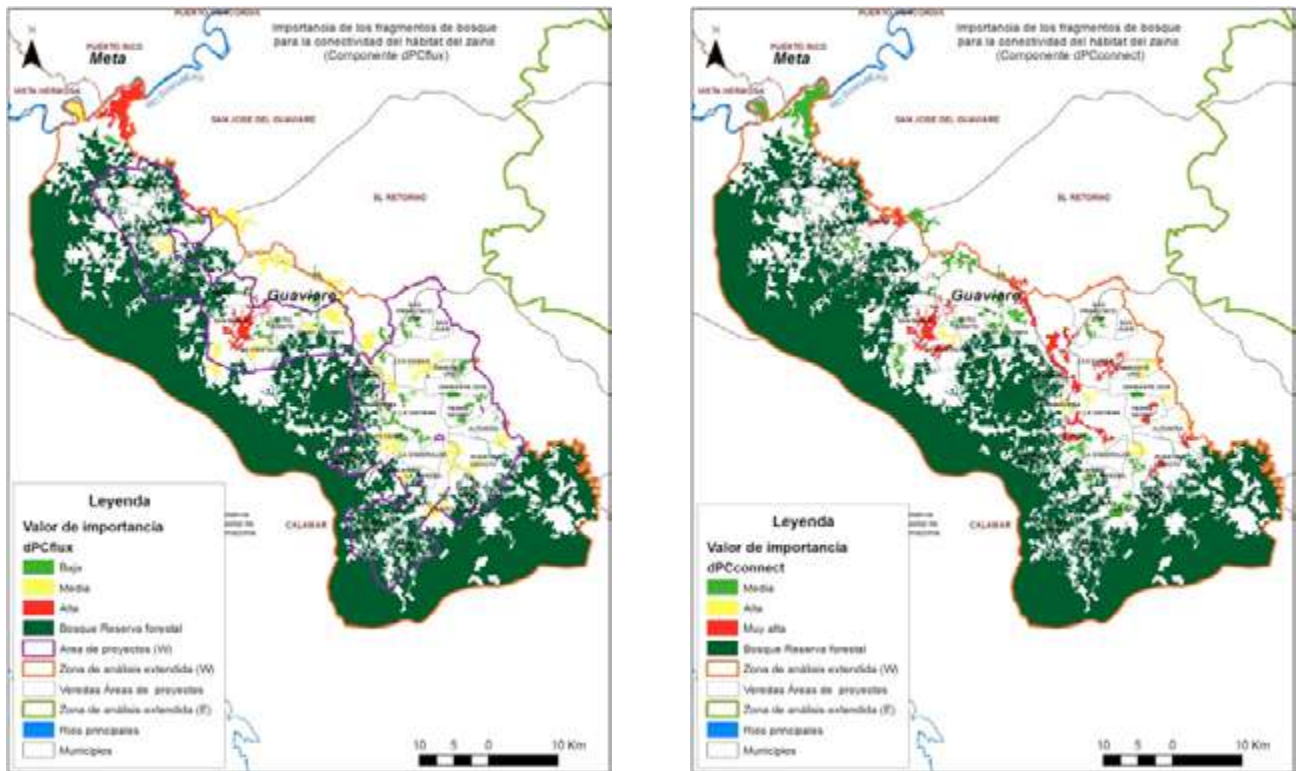


Figura 22b. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaíno) de acuerdo al valor del indicador dPCflux (izquierda) y dPCconnect (derecha).

4.2.3. Costo del movimiento a través de la matriz y rutas de menor costo

Teniendo en cuenta los resultados producidos por el software Linkage Mapper para el área de estudio en el departamento del Guaviare, la Figura 23 presenta el valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse por la matriz entre fragmentos de bosque

para el armadillo y la lapa. Además de los resultados del modelo puede considerarse como otras posibles zonas de corredores el enriquecimiento y recuperación de los bosques asociados a corrientes de agua que comuniquen los fragmentos, entre otras cosas porque tanto el armadillo como la lapa y el zaino suelen moverse y permanecer en zonas cercanas a las fuentes de agua.

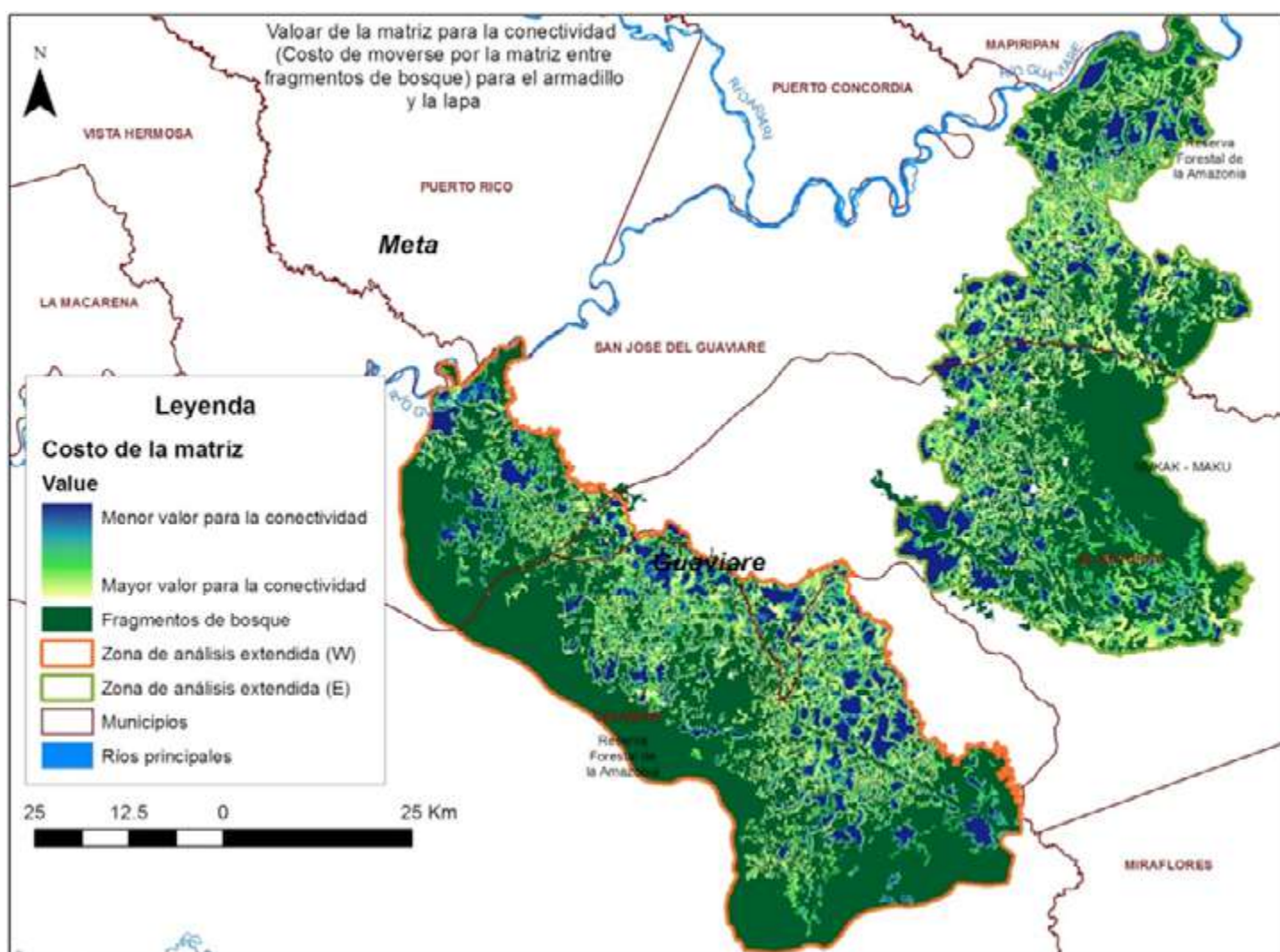


Figura 23. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse por la matriz entre fragmentos de bosque para el armadillo y la lapa.

4.3. Resultados para el área de estudio 3: zona comprendida por las subzonas hidrográficas de las cuencas de río Caguán y el alto Caquetá (departamento del Caquetá)

4.3.1. Número de fragmentos y calidad

En el área de estudio 3 la cantidad de hábitat disponible varía notoriamente según la especie. Para las especies pequeñas, de dispersión corta y requerimientos de área menor (armadillo y lapa) existe una mayor cantidad de fragmentos de bosque con características de hábitat potencial (641). (Tabla 6, Figura 24). Por su parte, teniendo en cuenta el área crítica de hábitat para el zaino según Benchimol & Peres (2015), el número de fragmentos de hábitat potencial para esta especie se reducen a 32, sin incluir los bosques

continuos y extensos. (Tabla 6, Figura 25). En el caso del cajucho, y de acuerdo al área crítica estimada por el mismo autor, la probabilidad de uso de hábitat en el área específica del proyecto se restringe a los cinco bosques continuos y extensos evidenciados.

En cuanto a la calidad del hábitat, los mejores fragmentos dentro del área del proyecto (mayor extensión y forma compacta) se encuentran en la parte media del municipio de Cartagena del Chairá a lo largo de la ribera del río Caguán. Los fragmentos de calidad media por su área y forma se encuentran más alejados de los bosques continuos y extensos y no se encuentran asociados a cuerpos de agua. En cuanto a fragmentos de menor calidad son muy pocos los evidenciados y se encuentran ubicados entre los grandes polígonos de bosque (Figura 26).

Tabla 6. Número total de fragmentos de bosque de hábitat (nodos) para cada especie de acuerdo al área crítica o rango de hábitat empleados en el análisis y número que se encuentra dentro del área específica del proyecto.

Especies	Número de fragmentos*	Área disponible (ha)	Área territorial promedio – Home Range (ha)*
Dispersión corta: Armadillo (<i>Dasypus novencintus</i>) y Lapa (<i>Cuniculus paca</i>)	552	75791	2.46
Dispersión media: Zaino (<i>Pecari tajacu</i>)	32	39636	500

*No se incluye en la tabla el conteo ni área de los bosques continuos y extensos los cuales no son fragmentos en sí sino áreas que presentan características estructurales y funcionales viables para las especies evaluadas, aunque claramente por su área resultan como hábitat adecuado para cualquiera de las especies. Sin embargo, dada su importancia para la conectividad de la zona si fueron tenidas en cuenta para la estimación de las métricas.

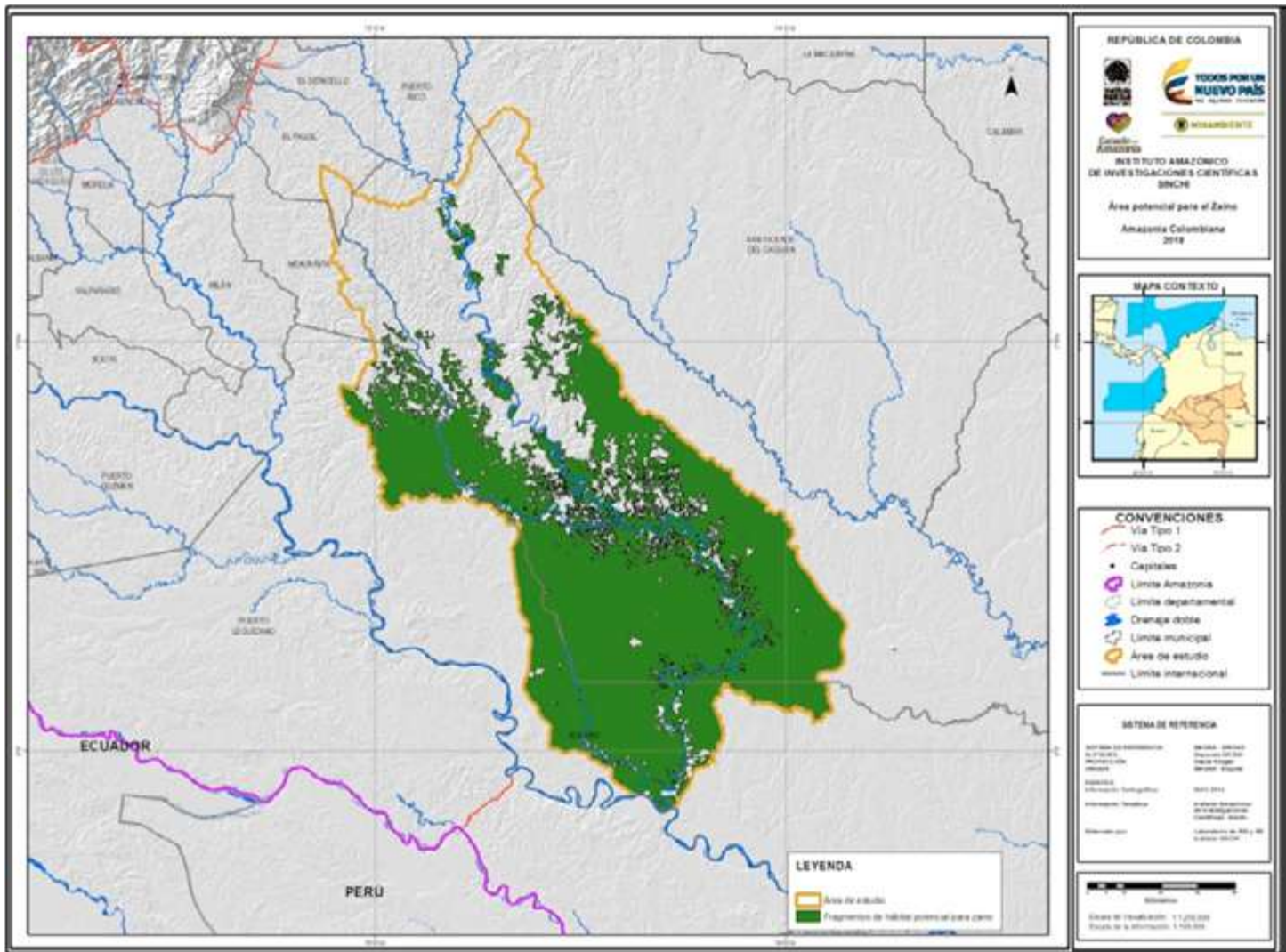


Figura 25. Fragmentos de hábitat potencial para el zaino de acuerdo con las áreas críticas para cada especie reportadas por (Benchimol & Peres, 2015)

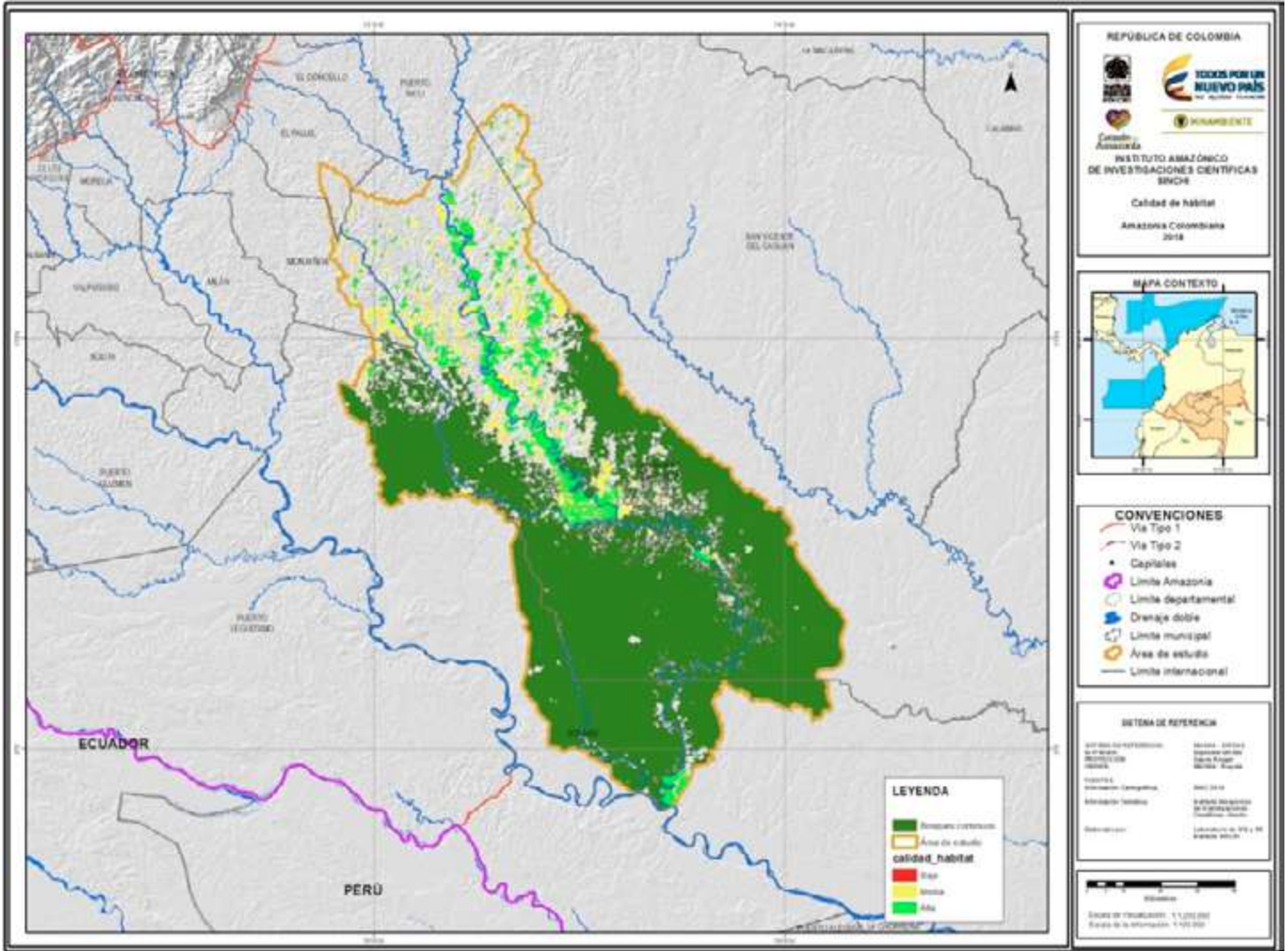


Figura 26. Calidad de hábitat de los fragmentos derivada a partir del área (ha) y el índice de círculo circunscrito relacionado (CIRCLE). La representación de las tres clases se realizó con el método de clasificación de intervalos geométricos.

4.3.2. Importancia de los fragmentos de hábitat para la conectividad

Los valores de importancia de cada fragmento fueron agrupados en tres clases (muy alto, alto y medio) utilizando el método de intervalos geométricos de Arcgis. No se categorizaron fragmentos de importancia baja, porque en gran parte del área del proyecto los relictos presentes son los únicos fragmentos de bosque disponible para la fauna, lo que constituye per se un valor importante para la fauna. Por otra parte, debido a la extensión notoriamente superior de los bosques continuos y extensos comparada con los demás fragmentos, estas áreas de bosques presentaron

un dPC de orden muy superior (correspondería a un dato atípico o extremo); por lo tanto, la agrupación de rangos se realizó sin tener en cuenta estos bosques para evidenciar la variabilidad que existe entre los demás parches. Sin embargo, la importancia de cada componente de la conectividad se analizó con y sin estos bosques.

Los resultados muestran que, en el área de análisis, la mayor contribución de los fragmentos a la conectividad de las dos especies está dada por su valor como hábitat que permiten acceder desde estos y hacia otros fragmentos (dPCflux), resultado que evidencia la importancia de estos fragmentos como conectores dentro del paisaje (Figura 27).

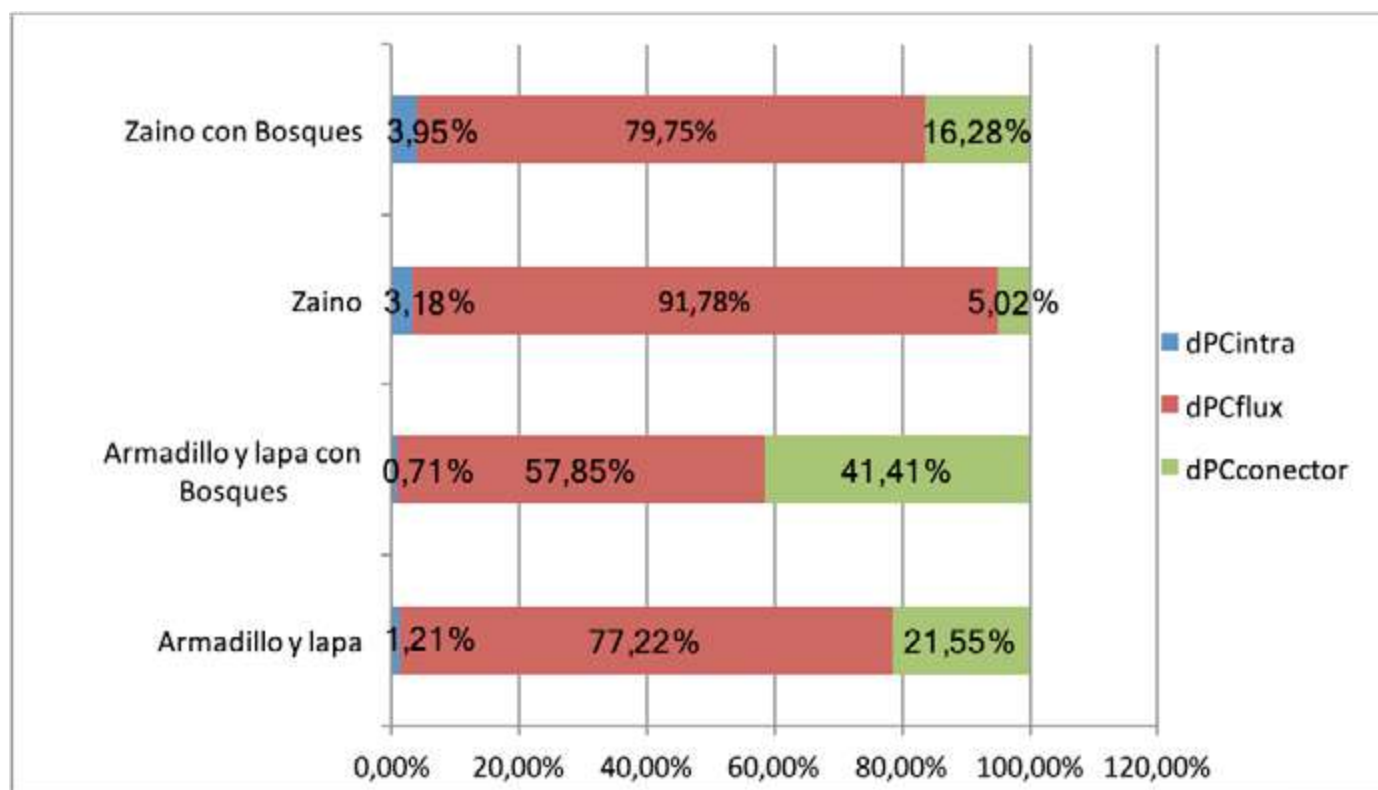


Figura 27. Contribución de cada fracción dPC intra, flux y connect a la conectividad total (dPC) para el área de estudio 3 en los escenarios de cada especie.

De otro lado, la contribución relativa para garantizar el flujo de las especies entre fragmentos es baja para las especies de dispersión media (dPCconnect 5%), mientras que para las especies de dispersión corta el dPCconnector (21%) es más alto, lo que quiere decir que muchos fragmentos tienen una importancia bastante significativa como puntos de paso o conectividad entre otros parches de bosque. Al analizar los resultados tomando en cuenta los bosques continuos y extensos, se observa que aumentan significativamente los fragmentos de bosques que sirven de paso para la movilidad de las dos especies analizadas.

En síntesis, el modelo sugiere que los fragmentos actuales más grandes tienen un valor mayor en la conectividad como sitios que facilitan a las especies moverse de un lugar a otro siendo estos el origen o el destino, lo que quiere decir, que son fragmentos de bosque que se caracterizan no solo por sus condiciones internas y de hábitat sino también por sus características locales.

Los fragmentos con una mejor calidad de hábitat ubicados a lo largo del río Caguán, son en su gran mayoría aquellos que se caracterizan por ser importantes como parches que sirven de paso o conectores entre otros fragmentos de bosque. Los fragmentos que tienen los valores más altos como sitios que facilitan el movimiento ya sean estos el origen o el destino (dPCflux), se encuentran ubicados muy cerca de los espacios de bosques continuos y extensos.

4.3.2.1. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat del armadillo y lapa

Para el armadillo y la lapa, especies de dispersión corta, los fragmentos de hábitat con el área crítica reportada por (Benchimol & Peres, 2015) y clasificado con importancia muy alta para la

conectividad (dPC), se encuentran cerca a los bosques continuos y extensos, ubicados en la parte media del municipio de Cartagena del Chairá. Por su parte, los fragmentos con una importancia asignada al rango alto y media se distribuyen por toda el área de estudio (Figura 28). Respecto a las fracciones que aportan a la conectividad, el resultado para las fracciones dPCconnector y dPCflux es muy similar al de la conectividad total. Para el caso de la fracción dPCintra, los fragmentos con una clasificación muy alta se encuentran ubicados en las zonas más alejadas de los bosques continuos y extensos y asociados a lo largo de la ribera del río Caguán, mientras que los fragmentos clasificados como altos se encuentran entre las zonas más intermedias entre los bosques continuos y extensos y las zonas más transformadas (Figura 28).

4.3.2.2. Importancia de los fragmentos para la conectividad del hábitat del zaino

En el caso del zaino, especie de dispersión media, los fragmentos con valores muy altos para la conectividad (dPC), se encuentran ubicados en la zona media del municipio de Cartagena del Chaira y otros cerca de los bosques continuos y extensos y algunos están asociados al río. Respecto a las fracciones que aportan a la conectividad, el resultado para las fracciones dPCflux es muy similar al de la conectividad total, mientras que para las fracciones dPCconnector y dPCintra los parches con valores muy altos están ubicados lejos de los bosques continuos y extensos. Dicho resultado, se resalta como de gran interés, pues se evidencian parches de bosque con características importantes para la conectividad tanto desde aspectos topológicos, como corológicos, que puede aportar significativamente a la movilidad de dichas especies a lo largo de toda el área de estudio (Figura 29)

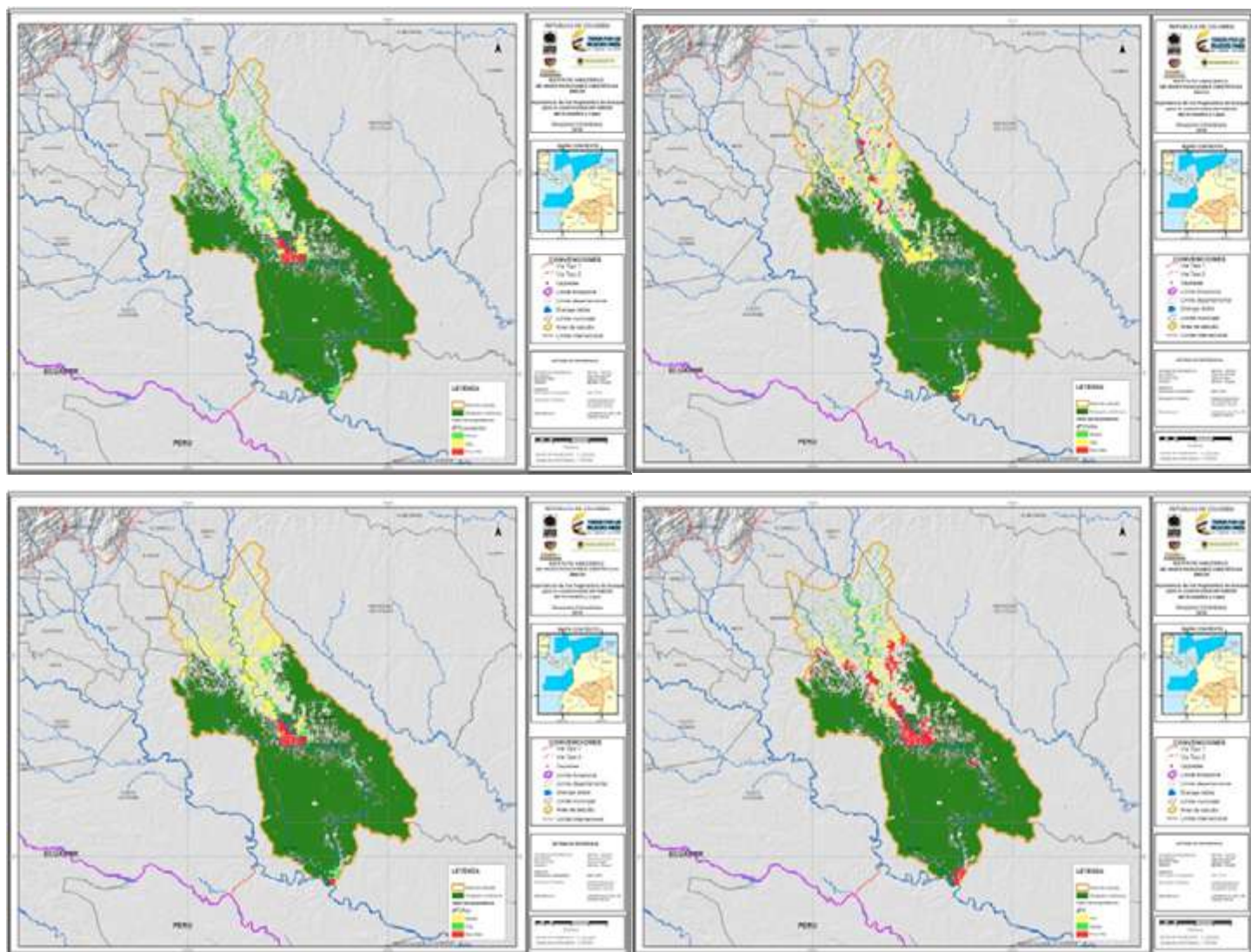


Figura 28. Importancia de los bosques para la conectividad de las especies de dispersión corta (armadillo, lapa) de acuerdo al valor del indicador dPC (abajo derecha) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dPCconnect (arriba izquierda).

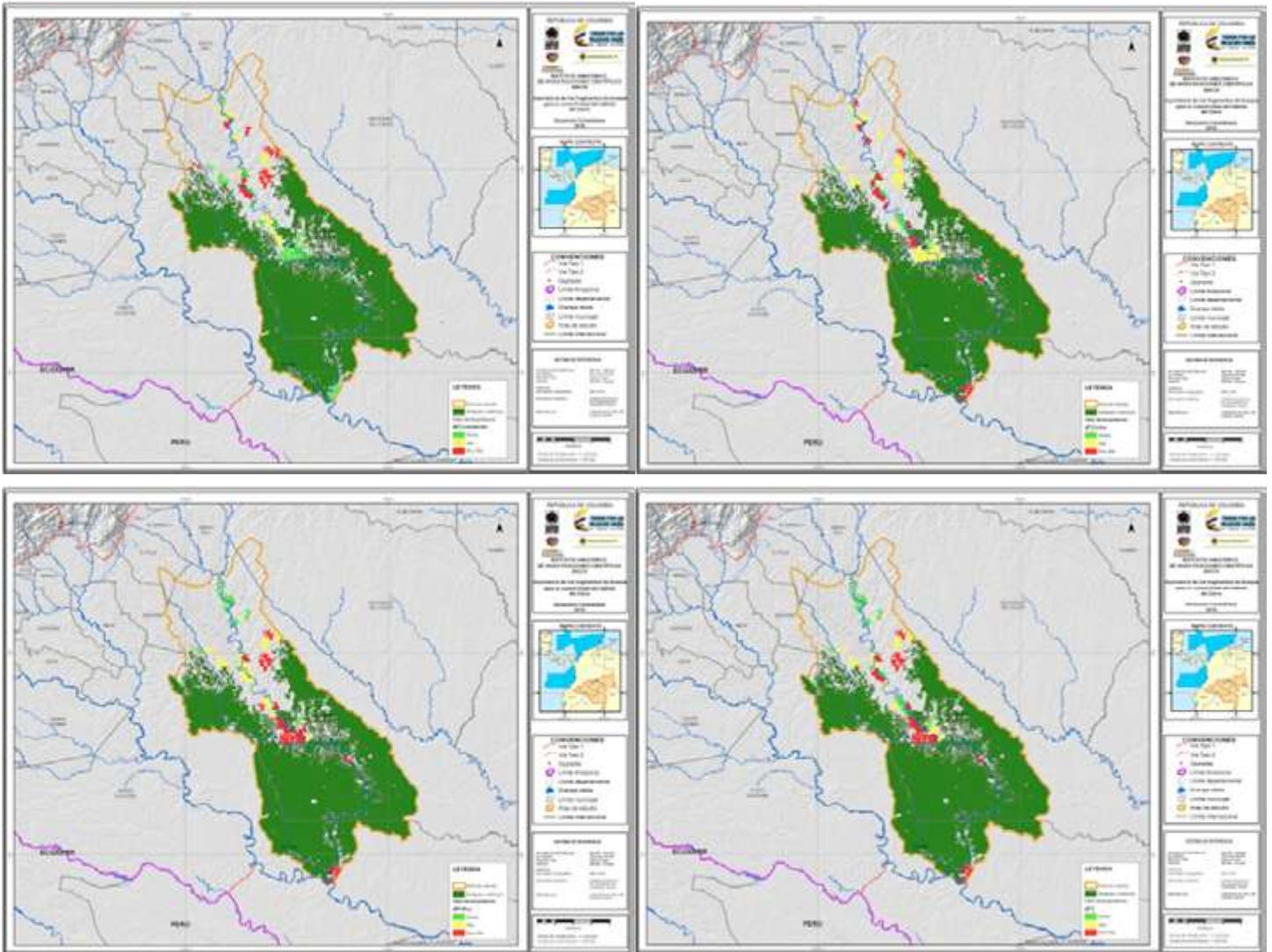


Figura 29. Importancia de los bosques para la conectividad de la especie de dispersión media (zaño) de acuerdo al valor del indicador dPC (abajo derecha) y de cada uno de sus componentes: dPCintra (arriba derecha), dPCflux (abajo izquierda) y dPCconnect (arriba izquierda).

4.3.3. Costo del movimiento a través de la matriz y rutas de menor costo

Corridor Designer genera posibles corredores de movilidad entre los parches de bosques seleccionados, ubicando las zonas de menor costo según la permeabilidad que tiene el paisaje dada por las coberturas de la tierra. Para este modelo, se seleccionaron los fragmentos de bosque que presentaron los valores más altos según la importancia

para la conectividad, ya sea por algunas de las fracciones evaluadas, también se escogieron parches que estuvieran ubicados en los extremos del área de estudio, con el propósito de evidenciar las posibles rutas de movimiento, inclusive en las partes más transformadas.

La matriz de resistencia, permite evaluar cuáles serán las zonas más críticas para atravesar la matriz según los criterios definidos. Generalmente estas zonas corresponden

a sitios donde los fragmentos están más aislados y existen coberturas de mayor resistencia, como, por ejemplo, los pastos limpios, las zonas de quema, artificializadas o sin vegetación, etc.

Los corredores resultados del modelo de Corredor Designer muestran las áreas actuales por donde posiblemente pueda existir movilidad de ciertas especies. Se observa que las áreas con un mejor hábitat están cerca de los bosques continuos y extensos y que los corredores también están muy cercanos a dichas zonas. Pero también se evidencia que, en la parte noroccidental, la más transformada del área de estudio, no se generan corredores de conectividad, por lo que es una evidencia clara de las zonas que necesitan ser

recuperadas para garantizar una mejor permeabilidad para la movilidad de las especies (Figura 30).

Con este resultado es posible establecer las zonas donde se podrían implementar herramientas y acciones para disminuir la resistencia de la matriz y las áreas de menor costo entre fragmentos donde podrían llegar a establecerse corredores. Además de los resultados del modelo puede considerarse como otras posibles zonas de corredores el enriquecimiento y recuperación de los bosques asociados a corrientes de agua que comuniquen los fragmentos, entre otras cosas porque tanto el armadillo como la lapa y el zaino suelen moverse y permanecer en zonas cercanas a las fuentes de agua.

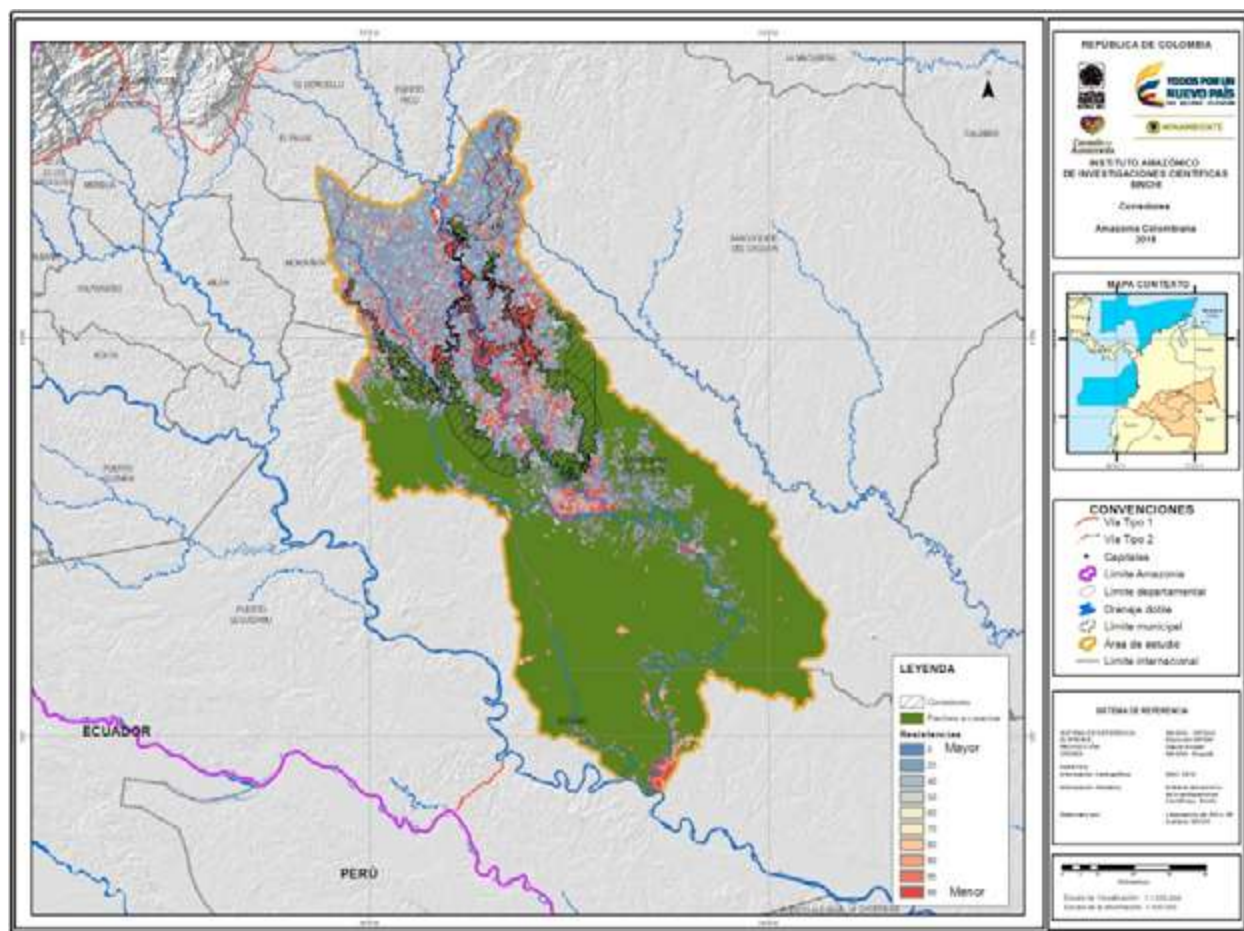


Figura 30. Valor de la matriz para la conectividad de acuerdo al costo de moverse por la matriz entre fragmentos de bosque para el armadillo y lapa.



El ambiente
es de todos

Minambiente

5. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LOS ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD EN EL PROYECTO

El análisis de conectividad con la metodología planteada resulta más robusto que el uso de métricas básicas (número de nodos, número de conexiones, distancia al vecino más cercano, etc.), Puesto que está incluyendo diferentes aspectos relevantes en la conectividad total: calidad de hábitat, capacidad de dispersión entre fragmentos de hábitat de buena calidad y facilidades de movimiento a través del paisaje utilizando sitios de paso. A nivel técnico, es posible evaluar la conectividad siguiendo este método con herramientas gratuitas y diseñadas específicamente para tal fin.

Otra ventaja de la metodología es el hecho de que permite determinar la importancia de cada fragmento en la conectividad total y en el aporte a cada componente de la conectividad (incluso entre enlaces) permitiendo la priorización de fragmentos o enlaces. Esto podría ser de utilidad para enfocar esfuerzos en aplicar las herramientas de conservación y mejoramiento con los propietarios de las fincas donde se ubican esos parches. Aunque se recomienda seleccionar fragmentos según su importancia en cada uno de los tres componentes (intra, flux y connect) para permitir que se conserve la funcionalidad en los tres aspectos; en este caso los fragmentos de mayor importancia total y por componente se encuentran en la zona de mayor altitud cerca de los bosques de la Reserva forestal y el PNN Indi Wasi.

Los análisis de conectividad presentados corresponden a un único momento y escenario (2014). Sin embargo, en caso de querer comparar los cambios históricos, realizar un monitoreo o evaluar escenarios alternativos;

la herramienta utilizada (CONEFOR) tiene la opción de identificar el cambio entre dos escenarios o fechas, lo cual resultaría apropiado, para cual sería necesario correr el ejercicio con los mismos parámetros que se utilizaron en este ejercicio:

- Área de paisaje idéntica que a la que se analizó en cada caso.
- Generar las superficies de resistencia con el mismo tamaño de pixel (6m) y los mismos valores.
- Utilizar la misma fórmula para evaluar la calidad de los fragmentos, con el área generada en la capa de polígonos en formato shape y la métrica de CIRCLE de Fragstats (pixel 6 m, 8 vecinos).
- Utilizar los mismos parámetros para calcular los índices en CONEFOR, utilizando la distancia efectiva multiplicada por la mediana del valor de la resistencia e incluyendo el área de bosque de la RFA y PNN.
- Ya que los dPC indican un valor de importancia relativo respecto a los demás fragmentos, no es posible comparar el valor de cada fragmento en las dos fechas (o más) del monitoreo. Podría obtenerse para cada fragmento el porcentaje del valor de dPC respecto al total del dPC de todos los fragmentos y de esta forma evaluar cuales aumentan el porcentaje de contribución a la conectividad y cuales disminuyen.
- Si se tiene información más precisa sobre las especies o se quiere mejorar algún aspecto se recomienda correr de nuevo el modelo para las fechas a comparar, incluida la de este ejercicio.



El ambiente
es de todos

Minambiente

El hecho de que los análisis de conectividad estén soportados en características funcionales, quiere decir que los resultados estarán relacionados con el uso, ocupación y tenencia de la tierra, pues los corredores modelados implican el trabajo con poblaciones humanas en donde las coberturas de la tierra y los ecosistemas se encuentran en cierto grado de transformación.

Para el desarrollo de análisis de conectividad funcional es indispensable la colaboración de expertos que tengan amplios conocimientos sobre las especies a trabajar, pues dichos datos son el punto de partida para todos los análisis. Los recursos disponibles para la conservación y planificación territorial son limitados y deberían concentrarse en el mantenimiento o establecimiento de corredores / conexiones entre parches de hábitat y en la conservación o mejora de la cantidad y calidad del hábitat.

La metodología, a través del uso de índices de disponibilidad de hábitat no sólo cuantifica qué zonas son más críticas para mantener o mejorar la conectividad, sino que también indica si la conectividad es realmente lo relevante para la conservación, o si lo realmente importante son las características locales del hábitat.

Los elementos lineales tienen gran importancia como barreras en los análisis de resistencias (infraestructuras viarias) o facilitadores del movimiento (vegetación riparia, cañadas, etc.). Es indispensable una buena representación de estos elementos para la estimación de distancias efectivas.

BIBLIOGRAFÍA

- Baranyi, G., Saura, S., Podani, J., & Jordán, F. (2011). Contribution of habitat patches to network connectivity: Redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators*, 11(5): 1301–1310., 11(5), 1301–1310.
- Benchimol, M., & Peres, C. (2015). Predicting local extinctions of Amazonian vertebrates in forest islands created by a mega dam. *Biological Conservation*, 187, 61–72.
- Calabrese, J., & Fagan, W. (2004). A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecological Environment*, 2(10), 529–536.
- Cosson, J., Pons, J., & Masson, D. (1999). Effect of forest fragmentation on frugivorous and nectarivorous bats in French Guiana. *Journal of Tropical Ecology*, 15, 515-534.
- Crist, Michele, R., Wilmer, B., Aplet, & Gregory, H. (2005). Assessing the value of roadless areas in a conservation reserve strategy: biodiversity and landscape connectivity in the northern Rockies. *Journal of Applied Ecology*, 42(1), 181-191.
- Erös, T., Schmera, D., & Schicke, R. (2011). Network thinking in riverscape conservation – A graph-based approach. *Biological Conservation*, 144, 184–192.
- Galpern, P., Manseau, M., & Fall, A. (2011). Patch-based graphs of landscape connectivity: A guide to construction, analysis and application for conservation. *Biological Conservation*, 144, 44–55.
- Goulart, F., Caceres, N., Graipel, M., Tortato, M., Ghizonijr, I., & Rodríguez Oliveira-Santos, L. (2009). Habitat selection by large mammals in a southern Brazilian Atlantic Forest. *Mammalian biology*, 74, 182–190.
- Gurrutxaga, M., Lidón Rubio, L., & Saura, S. (2011). Key connectors in protected forest area networks and the impact of highways: A transnational case study from the Cantabrian Range to the Western Alps (SW Europe). *Landscape and Urban Planning*, 101, 310-320.
- Gutierrez, S., Harmsen, B., Doncaster, C., Kay, E., & Foster, R. (2016). Ranging behavior and habitat selection of pacas (*Cuniculus paca*) in central Belize. *Journal of Mammalogy*. gyw179. doi: 10.1093/jmammal/gyw179.
- Guzmán-Lenis, A., & Camargo-Sanabria, A. (2004). Importancia de los rastros para la caracterización del uso de hábitat de mamíferos medianos y grandes en el bosque los mangos (Puerto López, Meta, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 9 (1), 11-22.
- IAvH. (2009). Pecari tajacu (Linnaeus, 1758). Fichas de especie No.275. *Catálogo de Biodiversidad*. Obtenido de <http://catalogo.biodiversidad.co/fichas/631>
- IAvH. (2011). *Dasybus novemcinctus* (Linnaeus, 1758). Fichas de especie No.275. *Catálogo de biodiversidad*. Obtenido de <http://catalogo.biodiversidad.co/fichas/275>

- IAvH. (2012). Tayassu pecari (Link, 1795) Fichas de especie No 407. *Catálogo de biodiversidad*. Obtenido de <http://catalogo.biodiversidad.co/fichas/4071>
- Jax, E., SMarín , S., Rodríguez-Ferraro, A., & Isasi-Catalá, E. (2015). Habitat use and relative abundance of the Spotted Paca *Cuniculus paca* (Linnaeus, 1766) (Rodentia: Cuniculidae) and the Red-rumped Agouti *Dasyprocta leporina* (Linnaeus, 1758) (Rodentia: Dasyproctidae) in Guatopo National Park, Venezuela. *Journal of Threatened Taxa*, 7(1), 6739-6749.
- Loughry, W., & McDonough, M. (1998). Spattial patterns in a population of Nine-banded Armadillos (*Dasyopus novemcinctus*). *The American Midland Naturalist*, 140 , 161-169.
- Majka, D., Jenness, J., & Beier, P. (2007). CorridorDesigner: ArcGIS tools for designing and evaluating corridors. *CorridorDesigner: Minneapolis, MN*. Obtenido de [http://www. corridor design. org/](http://www.corridor design. org/)
- Mateus. (2014).
- McBee, K., & Baker, R. (1982). *Dasyopus novemcinctus*. *Mammalian species*, 169, 1-9.
- McGarigal, K. (2015). *Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. Amherst, Massachusetts.: Documentation.
- Pardo-Vargas, L. E., & Payán-Garrido, E. (2015). Mamíferos de un agropaisaje de palma de aceite en las sabanas inundables de Orocué, Casanare, Colombia. *Biota Colombiana*, 16 (1), 54-66.
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21(7), 959-967.
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2008). Integración de la conectividad ecológica de los bosques en los instrumentos de planificación forestal a escala comarcal y regional. *Revista Montes*, 94, 31-37.
- Pirnat, J., & Hladnik, D. (2016). Connectivity as a tool in the prioritization and protection of sub-urban forest patches in landscape conservation planning. *Landscape and Urban Planning*, 153 , 129-139.
- Raison, R., Brown , A., & Flinn, D. (s.f.). *Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management*. . Great Britain.: CAB Publishers.
- Saura, S., & Pascual-Hortal , L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 82(2-3), 91-103.
- 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.

Sinchi. (2016).

Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68(3), 571-572.

Valsecchia, J., El Bizria, H., & Figueira, J. (2014). Subsistence hunting of *Cuniculus paca* in the middle of the Solimões River, Amazonas, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 74(3). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/bjb.2014.0098>

Yara, A. (2015). *Informe técnico del producto No. 6 del Contrato SGR N° 102: Documento con el análisis de la propuesta de trabajo de grado desarrollada a partir de la información capturada durante el estudio de fauna*. Bogotá: Proyecto: “Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el Departamento del Guaviare”. Instituto Sinchi. Documento inédito. 29p.

Zeller, K., McGarigal, K., & Whiteley, A. (2012). Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology*, 27(6), 777–797.