



**Análisis de la conectividad ecológica  
del jaguar en la región Pantanal-Chaco  
basado en la opinión de expertos**

## COMO CITAR ESTE REPORTE:

Creech, T., Keeley, A., Penrod, K., Magallanes, V.H., De Angelo, C., Thompson, J.J., López, J., Romero, A., Tortato, F., Sainz, L., Maillard, O., Vargas, A., Paviolo, A., De Bustos, S., Boron, V., Gonçalves-Morato, R., Molinas, C., Rumiz, D., Wallace, R., Villalba, L., Gimenez, D., Giordano, A. J., Weiler, A., Quiroga, V., Springer, J., Polisar, J., Lazzari, L., Eljall, A., Velilla, M., Tomas, W.M. and R. Antelo. Expert-based jaguar connectivity analysis for the Pantanal-Chaco region. 2023. Prepared by the Center for Large Landscape Conservation (Bozeman, MT, USA) under contract to WWF-Bolivia. 24 pp.

# CRÉDITOS

## CO-AUTORES

- Tyler Creech - Center for Large Landscape Conservation, Bozeman, Montana, USA
- Annika Keeley - Center for Large Landscape Conservation, Bozeman, Montana, USA
- Kristeen Penrod - Center for Large Landscape Conservation, Bozeman, Montana, USA
- Víctor H. Magallanes - World Wildlife Fund (WWF)-Bolivia, Santa Cruz, Bolivia
- Carlos de Angelo - Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA), Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Río Cuarto, Córdoba, Argentina
- Jeffrey J. Thompson - Asociación Guyra Paraguay
- Johanna López - World Wildlife Fund (WWF) -Paraguay, Asunción, Paraguay.
- Alfredo Romero - Humboldt University in Berlin, Berlin, Germany
- Fernando Tortato - Panthera-Brasil, Porto Jofre, Brasil
- Lila Sainz - World Wildlife Fund (WWF)-Bolivia, Santa Cruz, Bolivia
- Oswaldo Maillard - Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano, Santa Cruz, Bolivia
- Aideé Vargas - Fundación Natura Bolivia, Santa Cruz, Bolivia
- Agustín Paviolo - Instituto de Biología Subtropical (CONICET-Universidad Nacional de Misiones), Argentina.
- Soledad de Bustos - Dirección Regional NOA, Administración de Parques Nacionales, Salta, Argentina
- Valeria Boron - World Wide Fund for Nature (WWF)-United Kingdom, Woking, United Kingdom.
- Ronaldo Gonçalves-Morato - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Carnívoros, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Atibaia, SP, Brasil
- Carlos Molinas - World Wildlife Fund (WWF) -Paraguay, Asunción, Paraguay.
- Damián Rumiz - Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Santa Cruz, Bolivia
- Robert Wallace - Wildlife Conservation Society-Bolivia
- Laura Villalba - Wildlife Conservation Society-Paraguay
- Diego Gimenez - S.P.E.C.I.E.S.
- Anthony Giordano - S.P.E.C.I.E.S.
- Andrea Weiler - Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología. Núcleo de investigación en Biodiversidad, Asunción, Paraguay.
- Verónica Quiroga - Universidad Nacional de Córdoba, FCEFYN, Centro de Zoología Aplicada y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Diversidad y Ecología Animal (IDEA), Córdoba, Argentina
- Justin Springer - Re:wild, Bridgetown, Barbados
- John Polisar - Panthera, New York, NY 10018, USA
- Lucía Lazzari - Fundación Vida Silvestre, Buenos Aires, Argentina
- Ana Eljall - Fundación Vida Silvestre, Buenos Aires, Argentina
- Marianela Velilla - Asociación Guyra Paraguay
- Walfrido M. Tomas - Embrapa Pantanal, Corumbá, Brasil
- Rafael Antelo - World Wildlife Fund (WWF)-Bolivia, Santa Cruz, Bolivia

## DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO

María Fernanda Gutiérrez - World Wildlife Fund (WWF)-Bolivia, Santa Cruz, Bolivia

## PORTADA

© WWF-Sweden / Ola Jennersten

## TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL

Rafael Antelo - World Wildlife Fund (WWF)-Bolivia, Santa Cruz, Bolivia



# INTRODUCCIÓN

Como parte de la iniciativa Wildlife Connect, WWF participa en un esfuerzo para proteger, manejar y restaurar la conectividad ecológica en grandes paisajes de cuatro continentes. Uno de estos paisajes es Pantanal-Chaco (PACHA), ubicado en América del Sur, donde el jaguar ha sido seleccionado como especie focal porque están en peligro de extinción en tres de los cuatro países de PACHA, tiene una amplia distribución, es sensible a los cambios antropogénicos del paisaje y está relativamente bien estudiado: todos ellos factores que sugieren que conservar la conectividad de los jaguares también conservaría la conectividad de muchas otras especies.

El objetivo general del programa de WWF en la región es construir una visión común de la conectividad del jaguar en PACHA. Un paso clave para lograr este objetivo es caracterizar y mapear la red ecológica del jaguar. Este informe presenta un estudio de modelado realizado por el Centro para la Conservación de Grandes Paisajes (CLLC por sus siglas en inglés) para este propósito.

El estudio se basa en el conocimiento de expertos en la Biología del jaguar y ecología local para (1) mapear áreas núcleo para el jaguar entre las cuales se debe mantener la conectividad, (2) identificar las variables del paisaje que influyen en el movimiento del jaguar y (3) cuantificar la relación entre estas variables del paisaje y su resistencia al movimiento del jaguar. El aporte de los expertos alimenta los modelos de conectividad que identifican corredores ecológicos óptimos para la especie. Los resultados de este estudio (junto con otro que modela la conectividad usando datos empíricos sobre el movimiento del jaguar en lugar de la opinión de expertos) delinean una red ecológica de áreas núcleo para la conservación del jaguar y los corredores ecológicos que mantienen la conectividad del jaguar en PACHA.





© WWF-Sweden / Ola Jennersten

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio incluyó todo el Pantanal, sus cabeceras y una gran sección del Chaco, además de una zona de amortiguamiento de 100 km alrededor de estas regiones. De este modo, el análisis tiene en cuenta la conectividad con el hábitat del jaguar que rodea a PACHA (Fig. 1). El área de estudio incluyó territorios de Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina, totalizando 1.586.090 km<sup>2</sup>.

En el área de estudio, identificamos los polígonos de hábitat importante para la conservación del jaguar (áreas núcleo), usando datos espaciales de los límites de áreas protegidas, territorios indígenas (Tierra Comunitaria de Origen o TCO), tierras privadas y otras unidades de conservación disponibles en la Base de Datos Mundial de Áreas Protegidas (UNEP-WCMC y UICN 2022) o fueron proporcionados por los expertos.

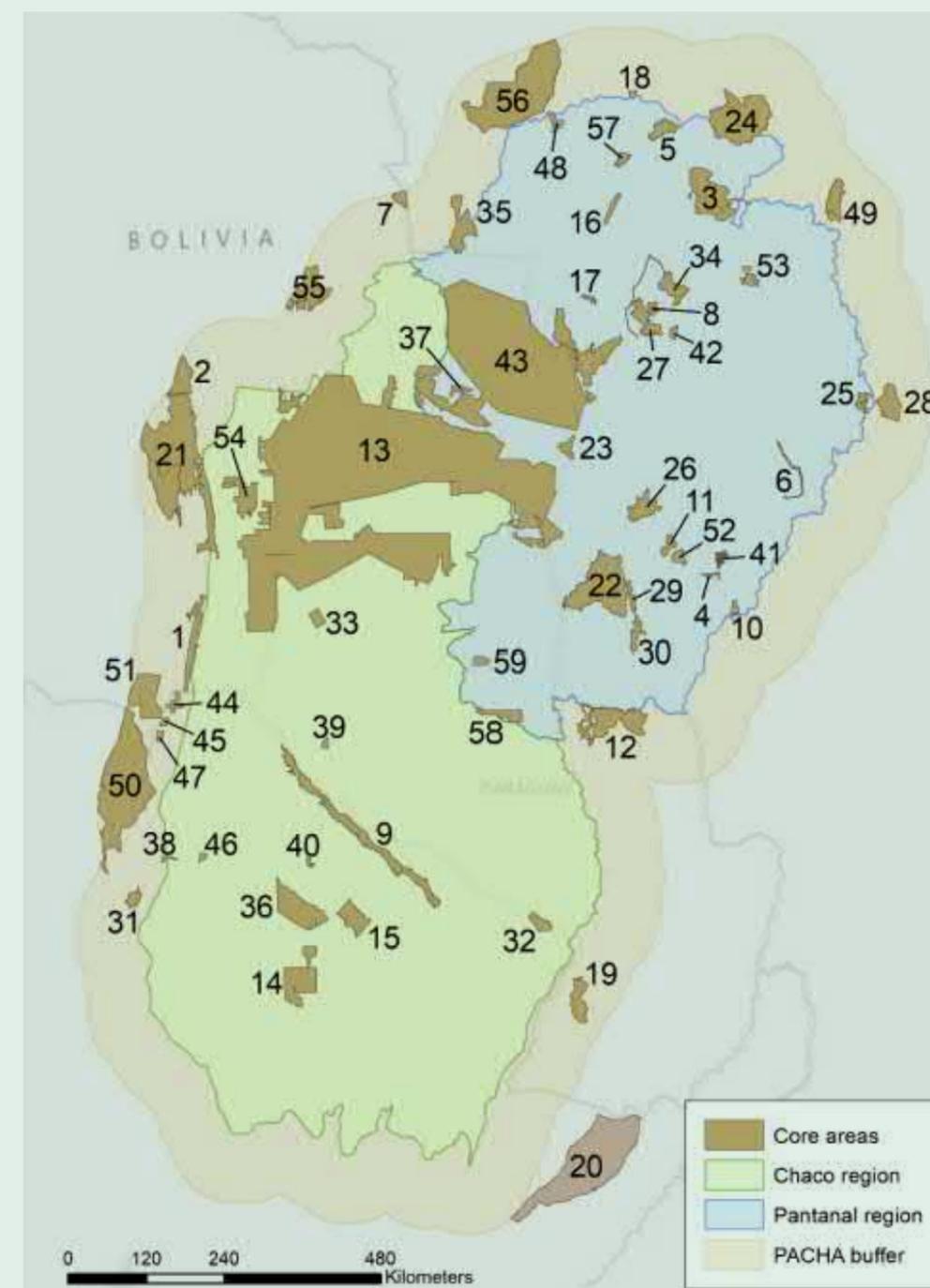
Agregamos todos los polígonos que se superpusieron o estaban separados por  $\leq 50$  m, luego se filtró cualquier polígono agregado

que tuviera menos de 100 km<sup>2</sup> dentro del Pantanal, o menos de 1.000 km<sup>2</sup> en el Chaco. Se hicieron excepciones para 11 áreas núcleos menores de 1.000 km<sup>2</sup> en la región del Chaco (áreas núcleo 32, 33, 38, 39, 40 y 46; Cuadro 1) o en la zona de amortiguamiento (áreas núcleo 7, 31, 44, 45 y 47), pues los expertos indicaron registros recientes de jaguar en áreas críticas para el jaguar pese a su pequeño tamaño. Se identificaron 58 áreas núcleo, con un tamaño de entre 78 y 81.734 km<sup>2</sup> (figura. 1; tabla 1). Un área núcleo adicional, la Reserva Provincial Iberá (área núcleo 20), se incluyó en el análisis a pesar de que sólo una porción de 0,1 km<sup>2</sup> se encuentra dentro de los límites del área de estudio. Esto es debido a su importancia excepcional para los jaguares en la región ya que, gracias a los recientes esfuerzos de reintroducción, Iberá alberga una de las mayores poblaciones de jaguares en el Chaco argentino por lo que es importante conectar su incipiente población con las ubicadas más al norte. Además, los expertos locales consideran que la conexión más probable entre Iberá y las otras áreas núcleo de nuestro análisis discurre por el extremo suroeste del Iberá, que colinda con nuestra área de estudio.

**Tabla 1.** Números de identificación del área central y nombres de las unidades de conservación correspondientes.

ID del área núcleo	Unidades de conservación incluidas en el área núcleo
1	Aguarague / Tierra Comunitaria de Origen Itikaguasa / Tierra Comunitaria de Origen Macharety / Tierra Comunitaria de Origen Weenhayek
2	Amboró
3	Área De Proteção Ambiental Da Chapada Dos Guimarães / Área De Proteção Ambiental Municipal Do Aricá-Açu
4	Área De Proteção Ambiental Estrada Parque De Piraputanga
5	Área De Proteção Ambiental Nascentes Do Rio Paraguai
6	Área De Proteção Ambiental Rio Cênico Rotas Monçoeiras
7	Área Natural de Manejo Integrado Municipal Laguna Marfil
8	Baia do Guató
9	Bañado la Estrella
10	Buriti
11	Cachoeirinha
12	Cerrados del Tagatiya / Tagatiya-mi / Cerrado del Río Apa / Arrecife / Serrania San Luis / Paso Bravo / Bella Vista
13	Monumento Nacional Cerro Chovoreca / Reserva bajo dominio Privado Lote N° 1 / El Ceibo / Reserva para Parque Nacional Cerro Cabrera-Timane / Parque Nacional Defensores del Chaco / Parque Nacional Medanos del Chaco / Parque Nacional Rio Negro / Otuquis / Kaa-iyá del Gran Chaco / TCO Origen Isoso / TCO Santa Teresita / Nembia Guasu / AP Quebracho Colorado / TCO Macharety / Guajukaka / Héroes Del Chaco
14	Copo / Loro Hablador
15	El Impenetrable
16	Estação Ecológica Da Serra Das Araras
17	Estação Ecológica De Taiamã
18	Estação ParecisA
19	Guyrati / Lago Ypoa
20	Iberá Reserva Provincial
21	Iñao / Parabanó / Río Grande Valles Cruceños / Tierra Comunitaria de Origen Itikarapirenda / Tierra Comunitaria de Origen Iupaguasu / Tierra Comunitaria de Origen Kaaguazu / Área Guaraní Del Manejo De Agua Serrania Irenda
22	Kadiwéu
23	Otuquis
24	Parque Estadual Águas Do Cuiabá / Santana / Área De Proteção Ambiental Das Cabeceiras Do Rio Cuiabá
25	Parque Estadual Das Nascentes Do Rio Taquari
26	Parque Estadual Do Pantanal Do Rio Negro / Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Santa Sofia
27	Parque Estadual Encontro Das Águas / Estrada Parque Transpantaneira
28	Parque Nacional Da Chapada dos Veadeiros / Parque Nacional Das Emas
29	Parque Nacional Da Serra Da Bodoquena

ID del área núcleo	Unidades de conservación incluidas en el área núcleo
30	Parque Nacional Da Serra Da Bodoquena / Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda São Geraldo
31	Parque Nacional El Rey
32	Parque Nacional Río Pilcomayo
33	Parque Nacional Teniente Enciso
34	Perigara / Estrada Parque Rodovia Mt 370 / Sesc Pantanal
35	Portal do Encantado / Chiquitano de Baía Grande / Parque Estadual Serra Santa Bárbara
36	Reserva Aborígen / Fuerte Esperanza
37	Reserva Ecológica Municipal Paquió
38	Reserva Nacional Pizarro
39	Reserva Natural 1° Div. Caballería Cuartel Gral.
40	Reserva Natural Formosa
41	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Lageado
42	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Poleiro Grande
43	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Reserva Natural Engenheiro Eliezer Batista / Parque Estadual Do Guirá / Guató / Reserva Particular Do Patrimônio Natural Rumo Ao Oeste / Valle de Tucavaca / Parque Nacional Do Pantanal Matogrossense
44	Reserva Provincial Acambuco / Reserva Provincial Lotes Anexos a Acambuco
45	Reserva Provincial Acambuco / Reserva Provincial Lotes Anexos a Acambuco
46	Reserva Provincial Los Palmares
47	Reserva Provincial Trasfondo del Tremental
48	Río Formoso
49	Sangradouro / Volta Grande
50	Yungas Biosphere Reserve: Serranías de Zapla / Parque Nacional Calilegua / Parque Provincial Laguna Pintascayo / Parque Nacional Baritú
51	Tariquía
52	52 Taunay / Ipegue
53	53 Tereza Cristina
54	54 Tierra Comunitaria de Origen Isoso
55	Tierra Comunitaria de Origen Zapoco / Tierra Comunitaria de Origen Lomerio
56	Uirapuru / Paresi / Utiariti / Juininha
57	Umutina
58	Victoria SA
59	Yaguarete Pora



**Figura 1.** Área de estudio y áreas núcleo de PACHA. Los números de las áreas núcleo corresponden con los del “Área núcleo ID” de la tabla 1, que enumera las áreas protegidas y territorios indígenas que componen cada área núcleo.

## VARIABLES DEL PAISAJE

Estimamos la resistencia del paisaje al movimiento del jaguar en función de cinco variables: tipo de cobertura terrestre, porcentaje de cobertura arbórea, distancia a caminos principales, distancia a caminos secundarios y densidad de población humana.

La cobertura terrestre se evaluó utilizando el conjunto de datos WorldCover de la Agencia Espacial Europea (Zanaga et al. 2021), que utiliza imágenes del satélite Sentinel de 2020 con una resolución de 10 m para asignar píxeles a once tipos de cobertura. Utilizamos el conjunto de datos de resolución de 30 m sobre el cambio global de la cobertura forestal para 2015 (Sexton et al. 2013) para evaluar el porcentaje

de cobertura arbórea. Completamos pequeños parches de datos faltantes de este conjunto de datos interpolando valores de celdas vecinas. La distancia a las carreteras primarias y secundarias se calculó en ArcGIS utilizando datos vectoriales sobre carreteras de Open Street Map (OSM; [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)), un base de datos de carreteras y otras características de desarrollo. Se consideraron vías primarias aquellas clasificadas por OSM como “autopistas”, “troncales” o caminos “primarios”, y consideramos caminos secundarios aquellos clasificados como “secundarios”, “terciarios”, “residenciales” o “no clasificados”. La densidad de población humana fue evaluada utilizando el conjunto de datos restringido de recuento de población de 2020, de arriba hacia abajo y con resolución de 100 m de WorldPop (Pop mundial 2018).



## RESISTENCIA DEL PAISAJE

Los valores de resistencia asociados a variables del paisaje se obtuvieron mediante encuestas a 21 expertos en jaguares de Bolivia, Brasil Argentina y Paraguay. Se pidió a los expertos que asignaran valores de resistencia que oscilaran entre 1 (menos resistente) y 100 (más resistente) para categorías asociadas con cada variable del paisaje (por ejemplo, tipos de cobertura terrestre y rangos de cobertura arbórea, distancia a las carreteras o densidad de población; Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores de resistencia derivados de expertos para cinco variables del paisaje que se supone influyen en el jaguar movimiento.

Variable	Categoría	Valor de resistencia
Tipo de cobertura terrestre	Árboles	1
	Matorral	29
	Pastizales	62,5
	Tierras de cultivo	80
	Construido	98
	Aguas abiertas	1
	Vegetación estéril/escasa	85
	Humedal	20
Distancia a carreteras primarias	0 - 100 m	90
	101 - 200 m	80
	201 - 400 m	60
	401 - 1000 m	40
	≥ 1001 m	1
Distancia a carreteras secundarias	0 - 100 m	50
	101 - 200 m	20
	≥ 201 m	1

Variable	Categoría	Valor de resistencia
Densidad de población humana	0-1 persons/km2	1
	2 – 5 persons/km2	40
	6 – 20 persons/km2	70
	21 – 100 persons/km2	90
	≥ 101 persons/km2	100
Porcentaje de cobertura arbórea	0 – 5 %	60
	6 – 20 %	40
	21 – 40 %	20
	41 – 60 %	2,5
	≥ 61 %	1

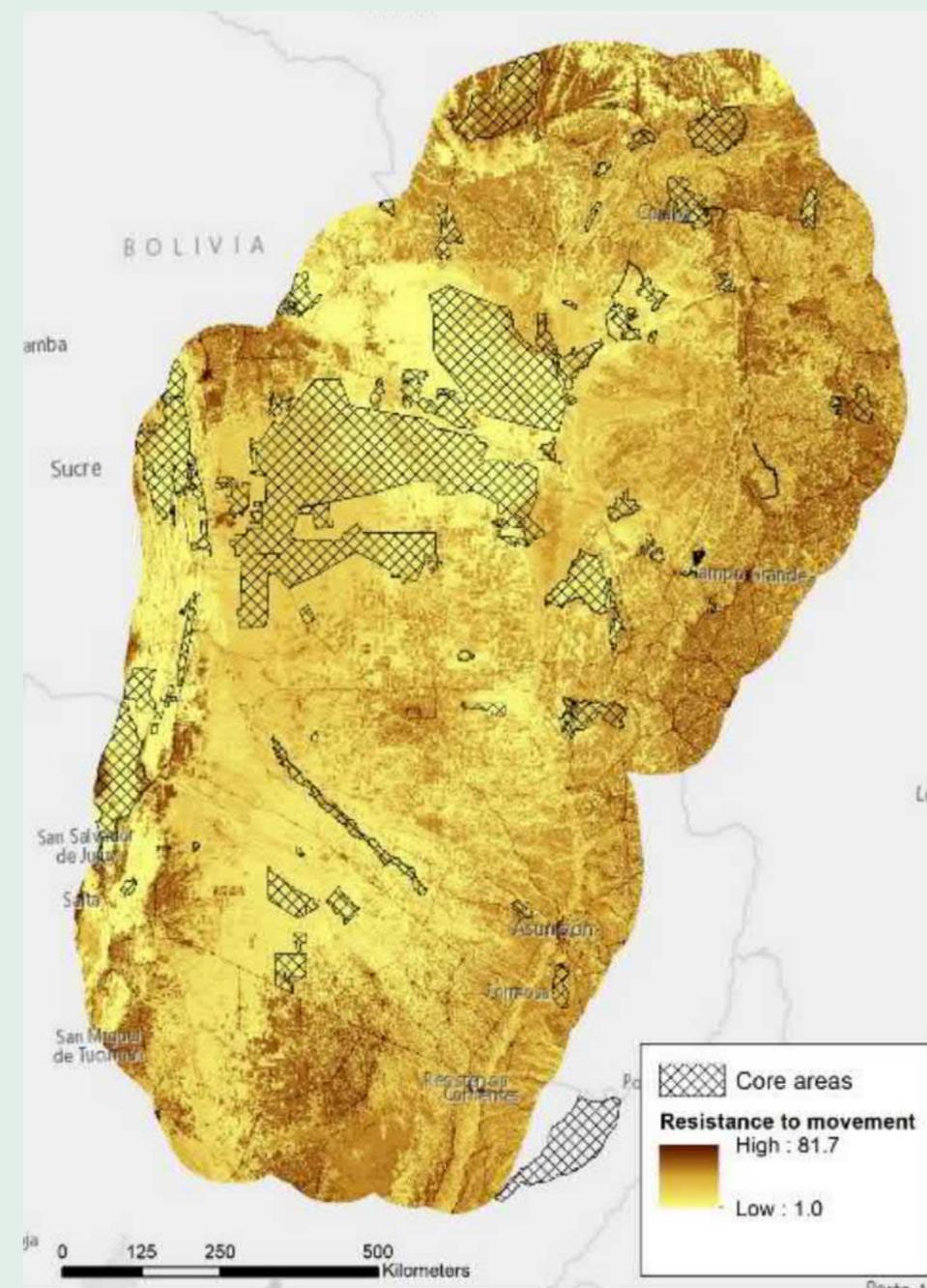
Realizamos múltiples rondas de encuestas para buscar valores de consenso según el método Delphi. Sin embargo, tres rondas de encuestas no dieron como resultado un consenso entre las opiniones de los expertos. Por lo tanto, para construir la superficie de resistencia, se calculó la mediana obtenida de la ronda final de encuestas de expertos para cada categoría de resistencia.

Usamos la mediana para construir la superficie de resistencia para cada una de las cinco variables del paisaje. También pedimos a los expertos que evaluaran la influencia relativa de las variables del

paisaje en el movimiento del jaguar, asignando a cada variable una puntuación del 1 al 10, donde los valores más altos indican una mayor influencia. Se usó la mediana de las puntuaciones de cada variable para determinar los pesos de las variables (tabla 3) y luego se creó una superficie de resistencia multivariante calculando la media ponderada por píxeles de las cinco superficies univariadas (Fig. 2). Agregamos la superficie de resistencia final a una resolución de 90 m para permitir una evaluación eficiente durante el modelado de conectividad. Los valores de resistencia oscilaron entre 1,0 y 81,7 dentro del estudio.

**Tabla 3.** Influencia relativa de las variables del paisaje sobre la resistencia al movimiento del jaguar según lo determinado por expertos.

Variable de paisaje	Puntuación mediana de expertos	Peso del modelo
Porcentaje de cobertura arbórea	10	0,24
Tipo de cobertura terrestre	10	0,24
Densidad de población humana	9,5	0,23
Distancia a vías primarias	7	0,17
Distancia a vías secundarias	5	0,12



**Figura 2.** Resistencia multivariada del paisaje al movimiento del jaguar dentro del área de estudio de PACHA.

## MODELADO DE CORREDORES

Se modeló la conectividad del jaguar en el área de estudio utilizando la herramienta Linkage Pathways (McRae y Kavanagh 2011). Este programa identifica y cartografía las conexiones de menor costo entre áreas núcleos vecinas a través de una superficie de resistencia definida por variables paisajísticas. Los mapas de corredores individuales se combinan con todos los corredores dentro del área de estudio para producir un mapa final, mostrando el valor relativo de cada píxel para facilitar la conectividad entre todas las áreas núcleo.

Se realizaron dos análisis: (1) un análisis de la red completa que identifica los corredores entre todas las áreas núcleo vecinas, y (2) un análisis de la red limitada que identifica solo corredores entre cada área núcleo y sus tres áreas núcleo más cercanas. Los expertos también expresaron el deseo de modelar varios corredores entre secciones de un área núcleo única, en lugar de entre áreas núcleo.

El área núcleo 13 es considerablemente más grande que todas las demás e incluye al menos 15 áreas protegidas adyacentes y/o territorios indígenas. Como el área núcleo 13 tiene forma de C (Fig. 1), un corredor que una sus dos brazos podría proporcionar un movimiento más eficiente entre partes distantes del área núcleo de lo que sería posible viajando dentro de los límites del área núcleo. Por lo tanto, realizamos análisis adicionales de Linkage Mapper de los vínculos de menor costo entre las siguientes áreas dentro de diferentes brazos del área núcleo 13: (1) Monumento Nacional Cerro Chovoreca y Defensores del Chaco, (2) Cerro Cabrera-Timane y Defensores del Chaco, y (3) Cerro Cabrera Timane y Médanos del Chaco. El resultado del análisis de Linkage Mapper es una superficie continua que abarca toda el área de estudio.

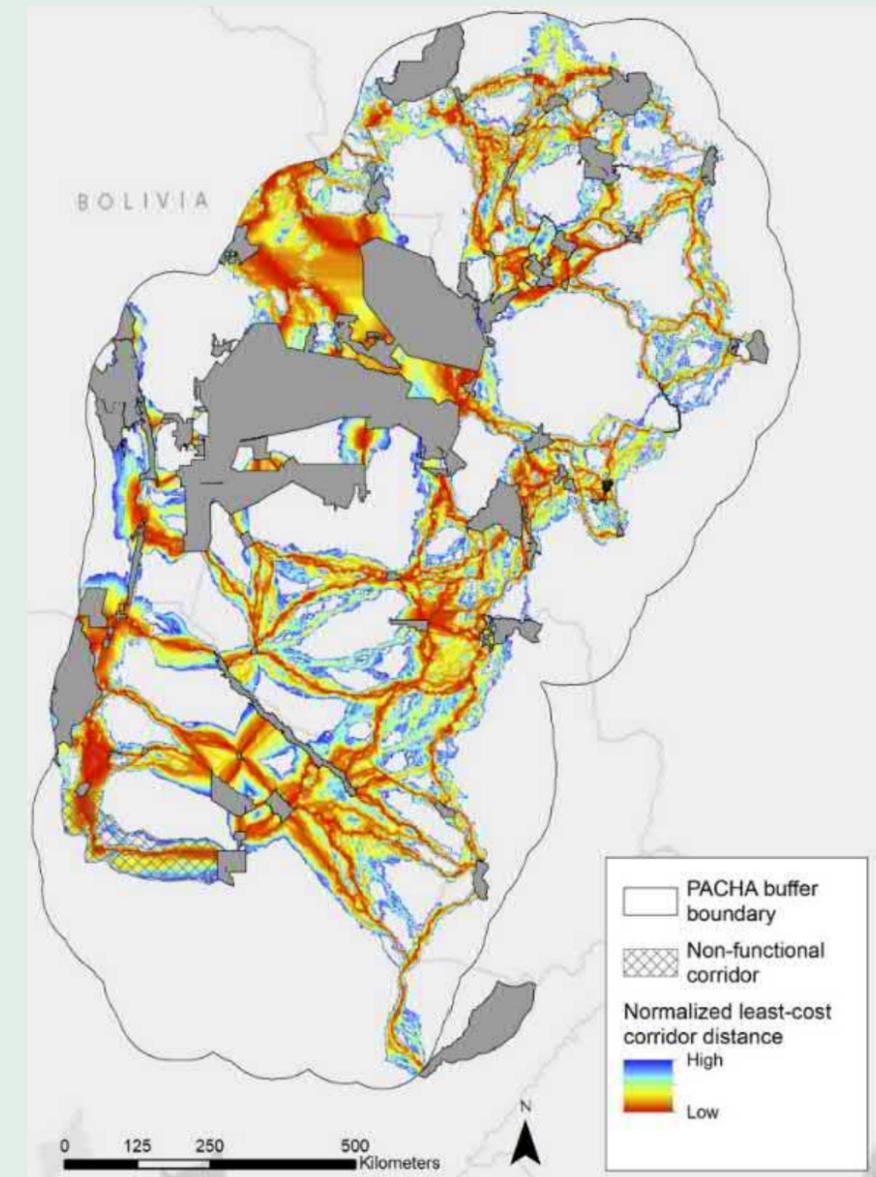
El resultado del análisis del Linkage Mapper es una superficie continua que abarca toda el área de estudio, por lo que, para destacar las partes más importantes del paisaje para la conectividad, utilizamos un umbral de coste-distancia para truncar el resultado en un conjunto de corredores discretos de alta probabilidad. Retuvimos todos los píxeles situados a menos de 100.000 unidades de coste de una ruta de coste mínimo, lo que equivale a 6,8 km adicionales de recorrido a través de un terreno de resistencia media. También truncamos los corredores a un umbral menor de 50.000 unidades de coste (equivalente a 3,4 km adicionales de recorrido a través de terreno de resistencia media) para proporcionar un conjunto de corredores más estrechamente definidos que pueden ser útiles para ubicar acciones de conservación en áreas donde la protección de corredores amplios no es factible.

La figura 3 es un mapa de corredores truncados a 100.000 unidades de costo para la red completa en el que las áreas núcleo están conectadas a todas sus áreas núcleo vecinas. Por otro lado, la figura 4 muestra corredores para la red limitada en el que las áreas núcleo están conectadas sólo con sus tres áreas núcleo vecinas más cercanas.

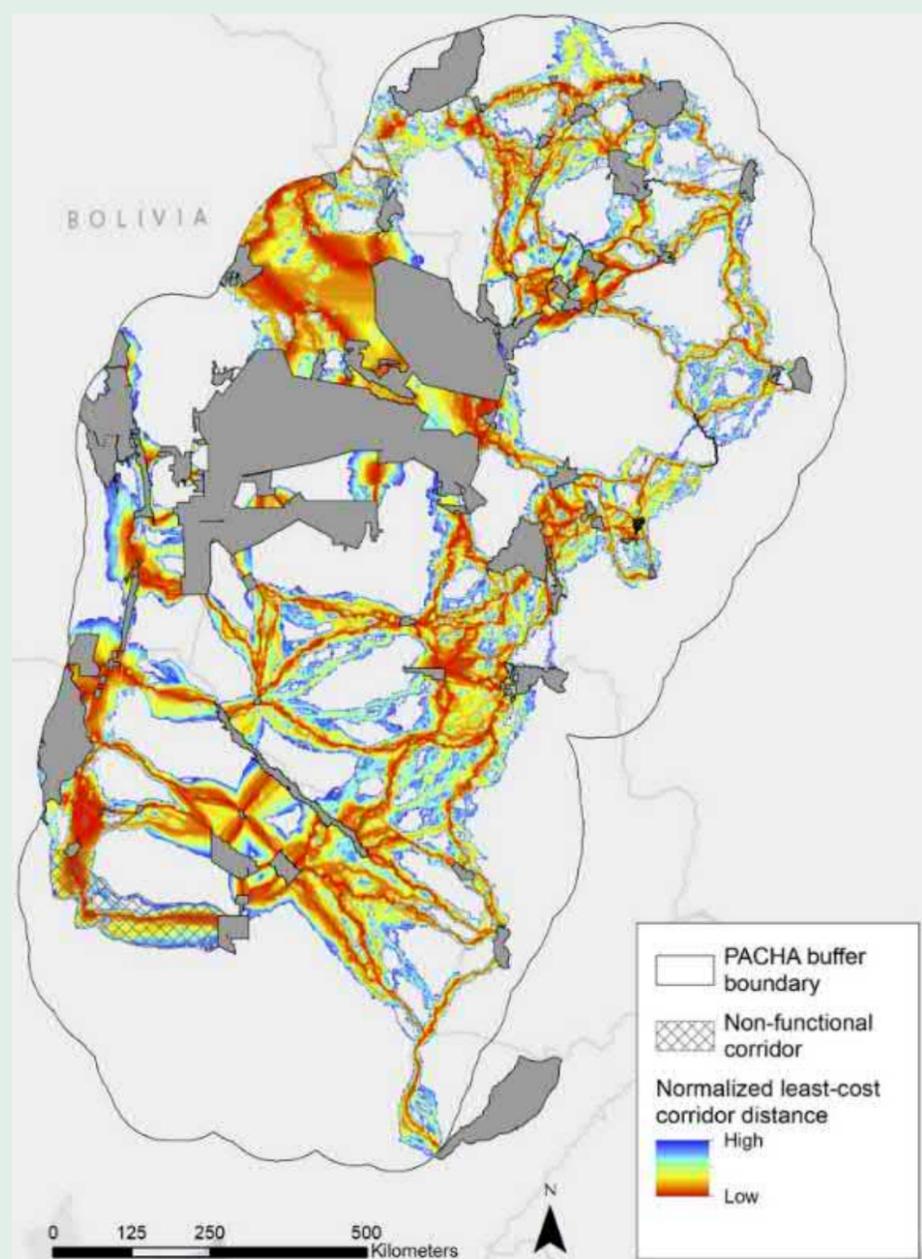
La mayoría de los corredores modelados que unen las áreas núcleo son relativamente lineales. Muchos de los corredores más largos y estrechos se encuentran a lo largo de la parte oriental del área de estudio, mientras que los corredores en la parte occidental tienden a ser más cortos y difusos. Muchos corredores constituyen múltiples tramos (es decir, rutas alternativas de resistencia acumulada aproximadamente iguales), que puede ser útiles para impulsar acciones de conservación en áreas determinadas. Las figuras 5 y 6 muestran corredores truncados a 50.000 unidades de costo para la red completa y limitada, respectivamente.

Tras revisar los resultados de los modelos de conectividad, los expertos identificaron un corredor en Argentina que consideran no funcional para el jaguar debido a la degradación del hábitat y la falta de registros de la especie durante más de 15 años.

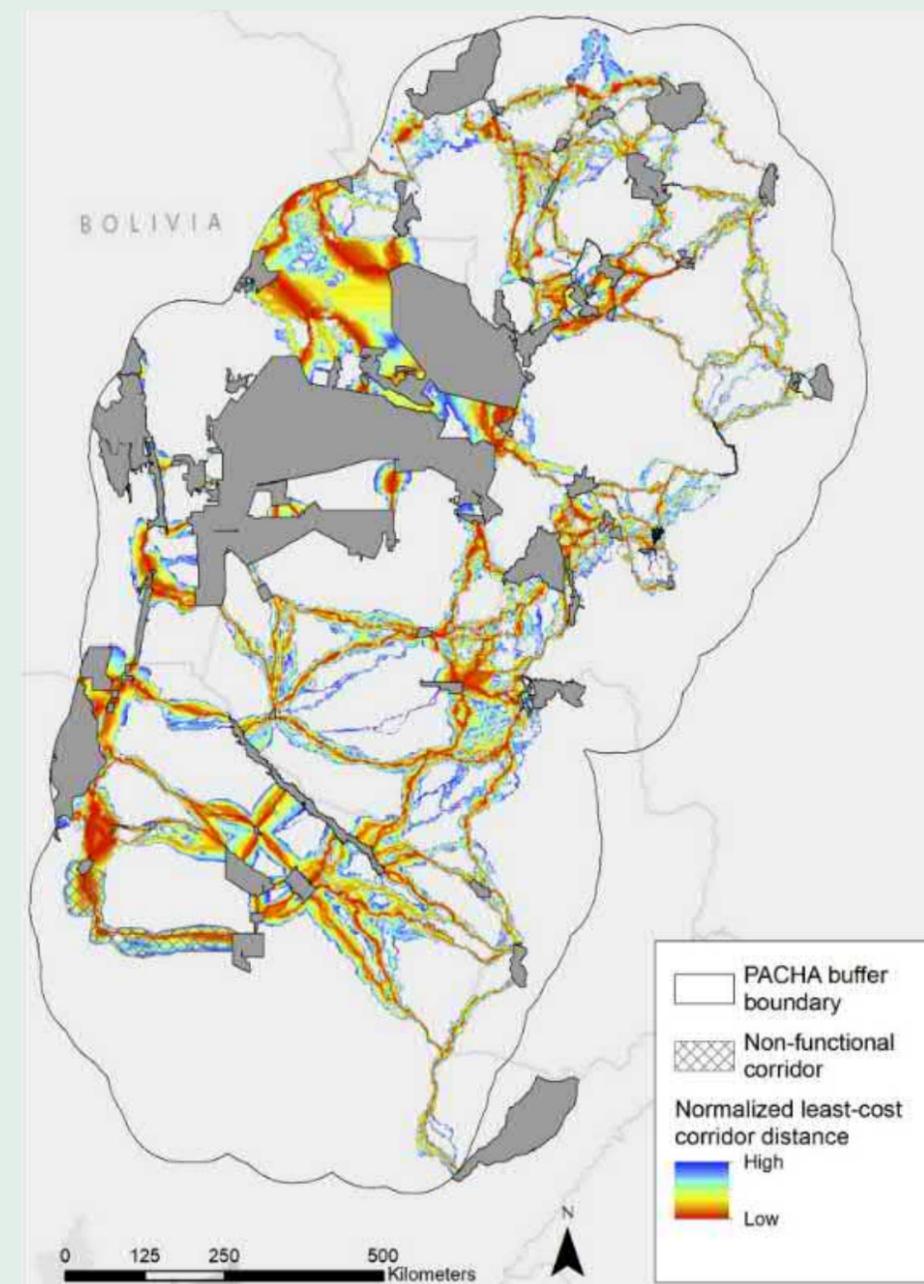
En las figuras 3-6 hemos señalado este corredor, que une el Parque Nacional El Rey (área núcleo 31) y Copo/Loro Hablador (área núcleo 14), como “no funcional”,



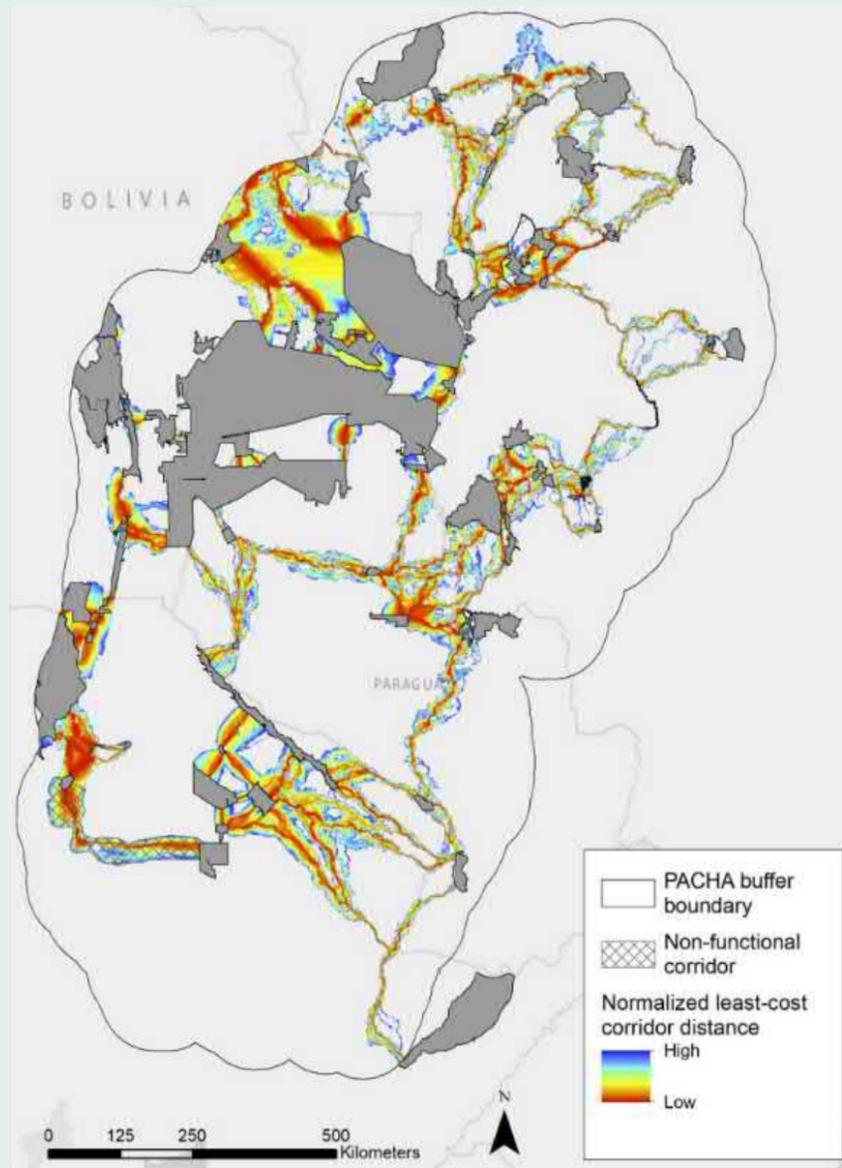
**Figura 3.** Corredores de jaguar en la red completa (todas las áreas núcleo vecinas conectadas), truncados para incluir solo píxeles con una distancia de costo inferior a 100.000 unidades de costo. Valores más bajos (se muestran con colores más cálidos) representan rutas de menor costo (es decir, rutas de movimiento más favorables).



**Figura 4.** Corredores jaguar en la red limitada (conexiones solo con las tres áreas núcleos vecinas más cercanas), truncado para incluir solo píxeles con una distancia de costo inferior a 100.000 unidades de costo. Valores más bajos (mostrados con colores más cálidos) representan rutas de menor costo (es decir, rutas de movimiento más favorables).



**Figura 5.** Corredores jaguar en la red completa (todas las áreas núcleo vecinas conectadas), truncados para incluir solo píxeles con una distancia de costo inferior a 50.000 unidades de costo. Valores más bajos (se muestran con colores más cálidos) representan rutas de menor costo (es decir, rutas de movimiento más favorables).



**Figura 6.** Corredores jaguar en la red limitada (conexiones solo con las tres áreas núcleos vecinas más cercanos), truncado para incluir solo píxeles con una distancia de costo inferior a 50 000 unidades de costo. Valores más bajos (mostrados con colores más cálidos) representan rutas de menor costo (es decir, rutas de movimiento más favorables).

## RESISTENCIA EFECTIVA

Utilizamos la herramienta Pinchpoint Mapper en Linkage Mapper para ejecutar Circuitscape dentro de cada corredor truncado de 100.000 unidades de costo en la red completa y estimar la resistencia efectiva asociada con cada corredor.

La resistencia efectiva mide qué tan conectadas están dos áreas núcleo en función de sus proximidad, el número de caminos alternativos entre ellos y la resistencia del paisaje a lo largo esos caminos. Los valores de resistencia efectiva para cada corredor en la red completa se muestran en la tabla 4.

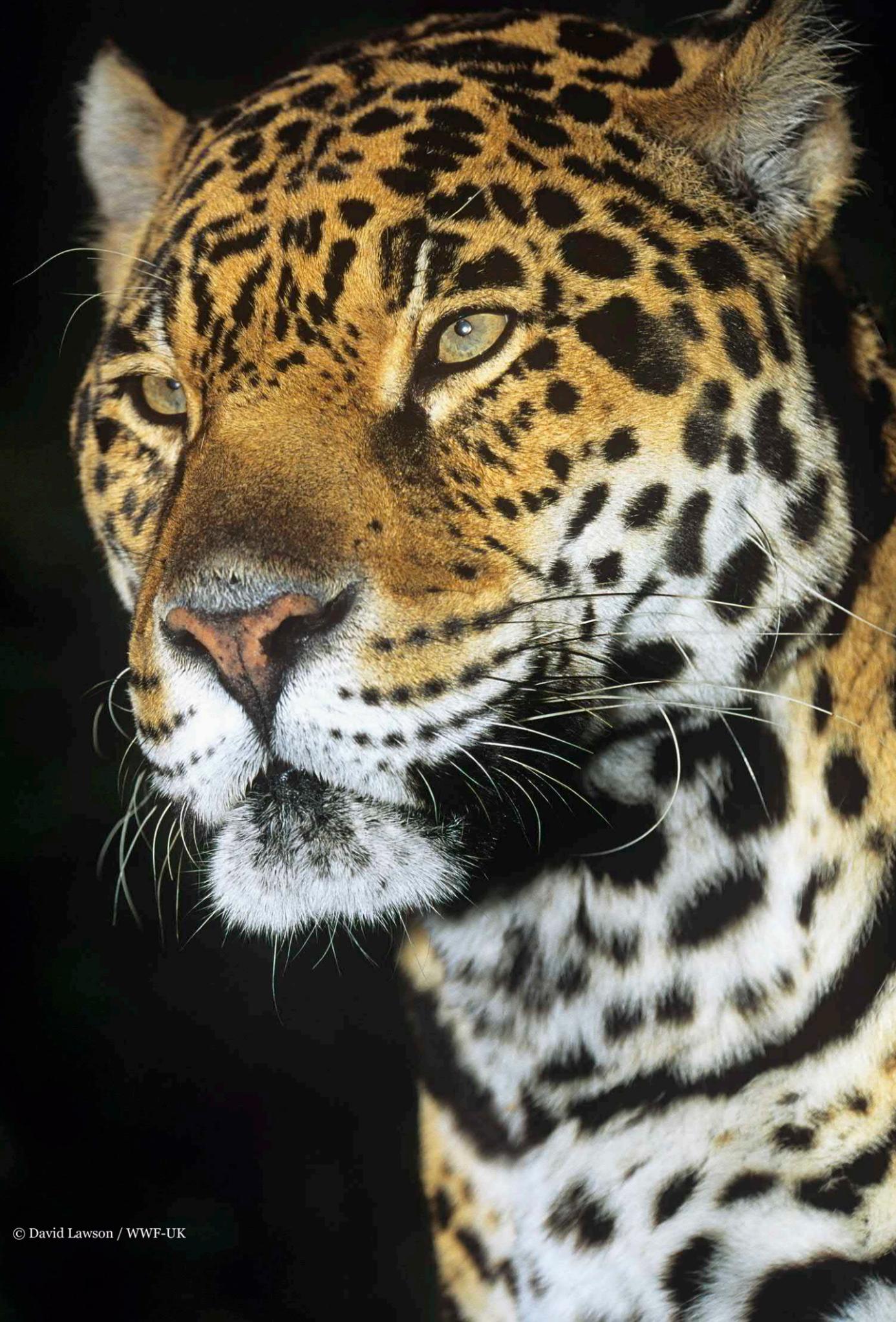
**Tabla 4.** Resistencia efectiva y centralidad de los corredores en toda la red (todas las áreas centrales vecinas conectadas) calculadas utilizando Circuitscape.

Desde la identificación del área núcleo	Al ID del área núcleo	Resistencia efectiva	Centralidad
1	13	216.3	223.8
1	21	164.8	361.1
1	44	25.6	538.1
2	21	1.7	58.0
3	5	1,325.0	59.2
3	16	1,096.3	32.9
3	24	597.5	60.7
3	34	860.8	97.2
3	49	2,970.7	34.4
3	53	1,114.4	81.4
4	10	932.0	30.2
4	41	156.3	95.0
4	52	615.1	72.6
5	16	1,162.9	51.7
5	18	530.6	39.3
5	24	1,059.5	59.6
5	57	608.5	73.9
6	25	1,625.1	78.3
6	26	6,911.7	47.8
6	41	2,214.7	76.0
6	42	7,497.8	58.8
7	35	510.4	46.7
7	43	465.1	35.3

Desde la identificación del área núcleo	Al ID del área núcleo	Resistencia efectiva	Centralidad
7	55	550.6	46.1
8	27	18.7	120.4
8	34	69.0	71.5
9	12	911.6	70.9
	15	185.3	159.4
9	19	3,336.6	42.9
9	32	1,828.5	70.7
9	39	376.8	123.1
9	40	283.9	71.3
9	44	1,107.3	88.2
9	58	1,423.4	71.4
10	41	1,724.8	29.6
10	52	1,403.1	34.8
11	22	400.4	109.2
11	26	272.2	117.3
11	52	87.5	129.2
12	22	1,079.5	92.0
12	30	2,018.9	113.8
12	32	2,413.8	87.1
12	58	232.3	86.8
13	21	309.7	194.7
13	22	809.6	173.6
13	23	60.3	173.6
13	26	1,203.8	122.6
13	33	648.7	92.8
13	39	3,184.0	45.9
13	43	9.6	567.5
13	54	120.2	214.4
13	55	199.9	64.0
13	59	1,747.4	91.3
14	15	231.8	60.5
14	31	1,761.4	42.9
14	36	164.2	46.9
15	19	3,154.5	50.5
15	20	7,964.2	37.9

Desde la identificación del área núcleo	Al ID del área núcleo	Resistencia efectiva	Centralidad
15	36	163.6	148.3
15	40	434.0	34.4
16	17	1,219.3	68.5
16	27	1,018.9	81.4
16	48	802.6	37.0
16	57	502.7	72.1
17	27	386.4	86.5
17	43	275.6	108.7
17	48	1,813.7	46.1
17	56	2,252.6	27.7
18	24	857.8	52.2
18	48	1,549.1	70.0
18	57	1,338.7	27.8
19	20	11,565.6	35.7
19	32	2,051.9	65.9
21	54	240.0	196.2
22	26	303.5	112.4
22	29	10.3	169.0
22	52	366.1	72.0
22	58	666.8	70.0
22	59	965.4	63.9
23	43	18.9	204.9
24	49	7,653.1	51.5
25	28	627.0	58.0
25	42	7,134.3	55.9
25	49	4,975.6	43.2
25	53	8,202.0	47.8
26	41	1,513.3	63.6
26	43	1,117.3	113.5
27	34	46.3	166.4
27	42	77.8	107.2
27	43	77.7	435.2
29	30	144.3	157.4
29	52	397.3	72.3
31	36	2,036.2	50.9

Desde la identificación del área núcleo	Al ID del área núcleo	Resistencia efectiva	Centralidad
31	38	71.9	77.2
31	46	1,306.6	30.5
31	50	151.2	113.6
33	39	1,998.7	44.4
33	59	2,585.5	33.0
34	42	116.4	74.4
34	53	743.0	105.5
35	43	156.2	127.2
35	56	1,339.7	96.9
36	40	236.0	53.5
36	46	793.7	75.8
36	50	3,069.5	62.0
37	43	4.0	58.0
38	46	1,244.5	48.6
38	50	140.9	116.8
39	58	2,254.5	34.4
39	59	2,315.8	35.3
40	50	2,994.5	57.2
41	52	494.3	70.7
42	43	333.1	119.4
42	53	965.2	70.8
43	55	105.3	46.8
44	45	22.7	237.3
44	51	24.9	255.0
45	47	18.8	132.0
45	51	30.6	108.4
46	50	1,028.0	42.0
47	50	40.7	97.3
48	56	454.6	107.9
48	57	1,410.2	50.9
49	53	2,418.8	38.0
50	51	18.9	314.0
58	59	400.5	103.8





## ANÁLISIS DE CENTRALIDAD

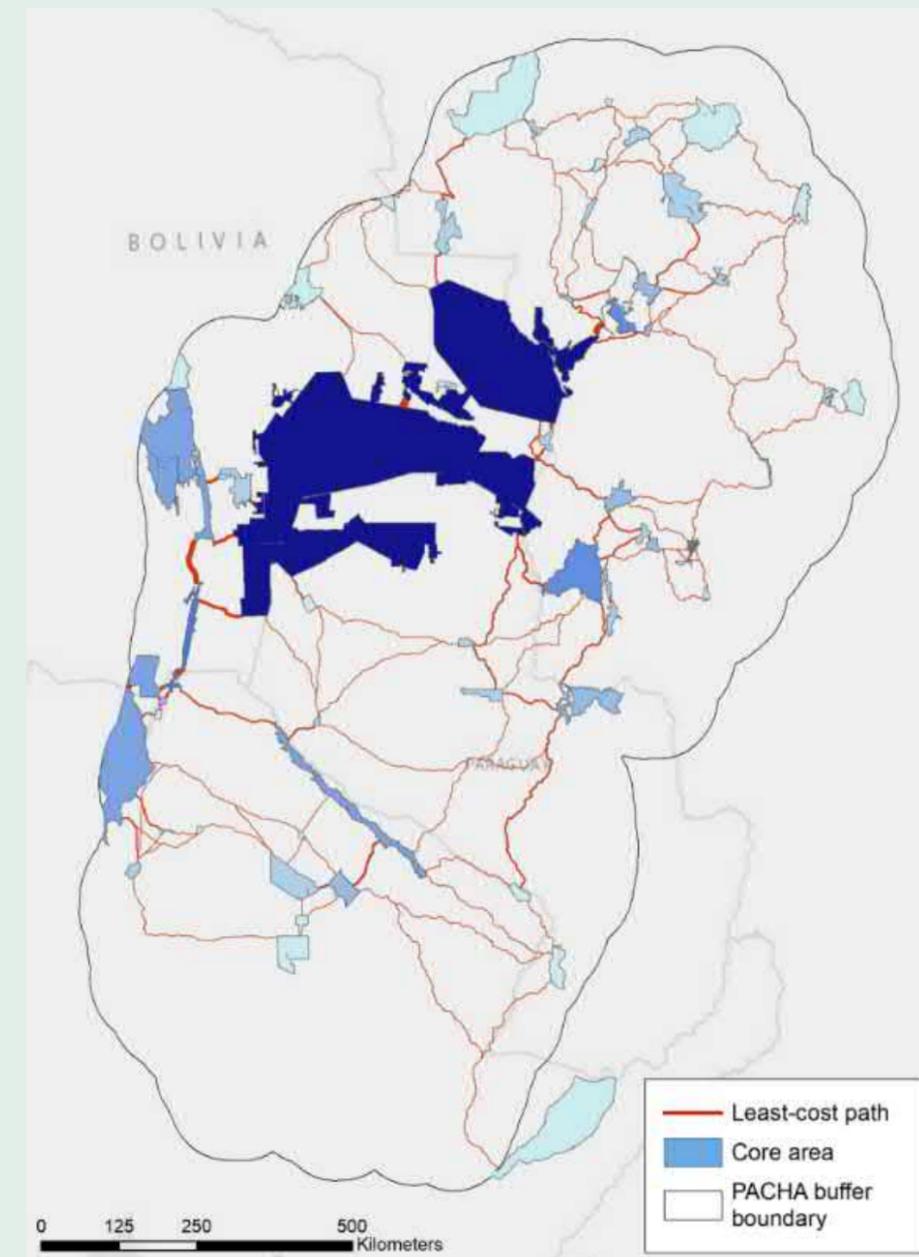
Finalmente, utilizamos la herramienta Centrality Mapper dentro de Linkage Mapper para determinar qué corredores y qué áreas núcleo dentro del área de estudio son las más importantes para mantener conectada la red ecológica en PACHA.

A cada área núcleo y corredor se le asignó una puntuación de centralidad del flujo actual, y los valores más altos indican una mayor importancia para la conectividad de la red.

Las figuras 7 y 8 muestran las puntuaciones de centralidad de los núcleos y corredores de la red completa y la red limitada, respectivamente.

Las zonas núcleo cercanas al centro de la zona de estudio tienen la mayor centralidad, lo que es consecuencia de su ubicación cerca del centro de la red y, por tanto, como pasos intermedios a lo largo de muchas conexiones entre zonas núcleo distantes.

Los corredores con mayor centralidad dentro de la zona de estudio también tienden a estar asociados a estas zonas núcleo centrales, aunque hay varios corredores a lo largo de los márgenes de la zona de estudio que tienen una centralidad relativamente alta y, por lo tanto, pueden ser lugares clave para la conservación de la conectividad. Las puntuaciones de centralidad de los corredores también figuran en la tabla 4.



**Figura 7.** Centralidad de las áreas núcleo y corredores del jaguar en la red completa (todas las áreas núcleo vecinas conectadas). Las áreas núcleo que se muestran con tonos de azul más oscuros tienen una mayor centralidad. Las rutas de menor costo que se muestran con líneas más gruesas representan corredores con mayor centralidad.

## DISCUSIÓN

Los corredores ecológicos del jaguar identificados en este análisis proporcionan un punto de partida útil para la planificación de la conservación de la conectividad en el paisaje PACHA. La incorporación de datos existentes sobre los movimientos y registros de jaguar podría ayudar a validar los corredores sugeridos por el modelo. Por ejemplo, superponer los corredores identificados en este trabajo con ubicaciones donde se han registrado jaguares, ya sea como ubicaciones puntuales (por ejemplo, avistamientos) o rutas de movimiento de individuos con collares, proporcionaría evidencia de respaldo independiente para los corredores modelados. Por el contrario, podría sugerir que otras áreas no identificadas por los modelos son corredores de movimiento importantes.

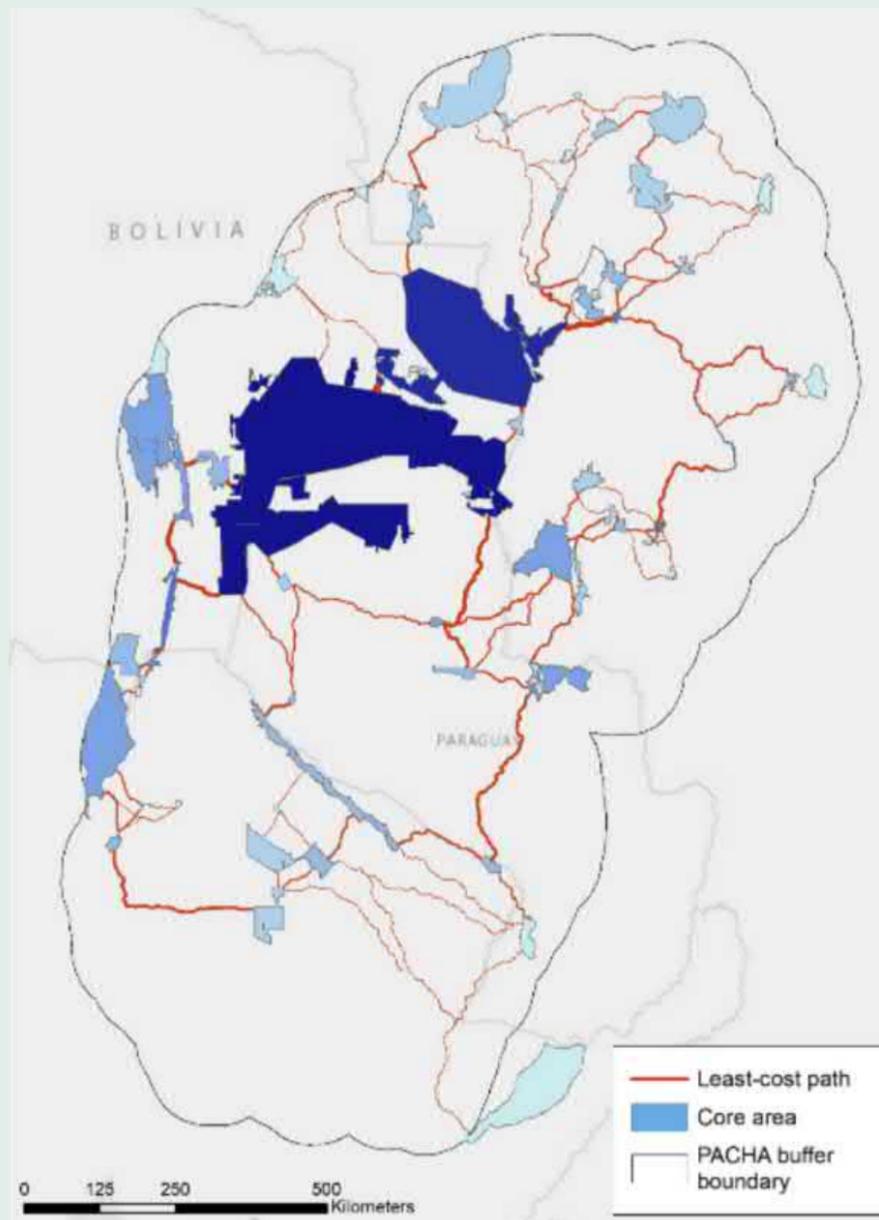
El enfoque de modelado de conectividad que utilizamos resultó en corredores de menor costo mapeados entre todas las áreas núcleo vecinas, independientemente de la distancia o la calidad del hábitat intermedia entre ellas. Pero los mejores corredores que unen algunos pares de áreas núcleo pueden tener poco potencial para facilitar los movimientos de los jaguares y, por lo tanto, pueden no ser objetivos prácticos para las acciones de conservación. Nuestro objetivo con este análisis fue proporcionar un mapa completo de los mejores corredores posibles entre áreas protegidas, pero se recomienda una revisión cuidadosa de los corredores para determinar si parecen factibles dado el mejor conocimiento disponible sobre la presencia y el comportamiento de movimiento del jaguar.

Sin embargo, advertimos que la falta de observaciones recientes de jaguares dentro de un corredor modelado no necesariamente debe interpretarse como evidencia de que el

corredor no es importante. Puede que algunos corredores no tengan evidencia registrada del uso de jaguares porque ha habido un esfuerzo mínimo para detectar su presencia en el área. Además, incluso los corredores que sirven como vías de dispersión importantes pueden usarse con muy poca frecuencia y, por lo tanto, es poco probable que se haya registrado la presencia de jaguares, pero los eventos de dispersión raros siguen siendo críticos para el flujo de genes y la persistencia de la metapoblación.

El enfoque utilizado en este análisis busca identificar corredores entre áreas núcleo definidas por límites administrativos en lugar de límites ecológicos basados en la idoneidad del hábitat para los jaguares. La gran mayoría de las áreas núcleo son áreas protegidas o territorios indígenas, aunque se hicieron algunas excepciones para unidades de conservación que actualmente carecen de protección formal pero que los expertos confían en que permanecerán conservadas durante varios años. Se eligió este enfoque basado en áreas protegidas porque (1) el mantenimiento de corredores entre áreas protegidas garantiza que la conectividad del paisaje persistirá incluso si la matriz no protegida entre áreas protegidas se degrada, y (2) las áreas protegidas sirven como hábitat para muchas especies además del jaguar. Reconocemos que no todas las áreas protegidas en nuestro análisis son hábitats de jaguar ocupados y de alta calidad, por lo que actualmente algunos corredores modelados pueden no servir como vínculos útiles entre las poblaciones de jaguar. Un análisis separado que explore la conectividad entre parches de hábitat de jaguares podría complementar el análisis presentado aquí y proporcionar información adicional sobre la conectividad del paisaje contemporáneo para los jaguares.

Análisis adicionales también podrían considerar el uso de datos de cobertura



**Figura 8.** Centralidad de las áreas núcleo del jaguar y corredores en la red limitada (conexiones solo con tres áreas núcleo vecinas más cercanas). Las áreas núcleo que se muestran con tonos de azul más oscuros tienen una mayor centralidad. Las rutas de menor costo que se muestran con líneas más gruesas representan corredores con mayor centralidad.

terrestre con mayor resolución temática para distinguir mejor entre clases de cobertura que son estructuralmente similares pero que los jaguares pueden percibir de manera diferente. Por ejemplo, el conjunto de datos de ESA WorldCover que utilizamos incluía una sola clase para pastizales, lo que no nos permitió distinguir entre sabanas naturales (hábitat generalmente favorable para los jaguares) y pastizales (pastoreados por ganado doméstico y hábitat generalmente menos favorable para los jaguares). El conjunto de datos de cobertura terrestre de MapBiomas (<https://mapbiomas.org/en>) tiene una resolución temática más alta que la ESA WorldCover y sería una buena opción para estudios futuros. No utilizamos MapBiomas en el análisis actual porque cuando solicitamos información de expertos sobre la resistencia de las clases de cobertura del suelo, no se había finalizado un producto MapBiomas que cubriera completamente el área de estudio de PACHA. Las diferencias en las clases de cobertura terrestre entre MapBiomas y ESA WorldCover son lo suficientemente grandes como para que nuestros valores de resistencia originales no puedan cruzarse fácilmente de un esquema de clasificación a otro, por lo que se necesitarían rondas adicionales de solicitud de expertos para incorporar MapBiomas en un análisis.

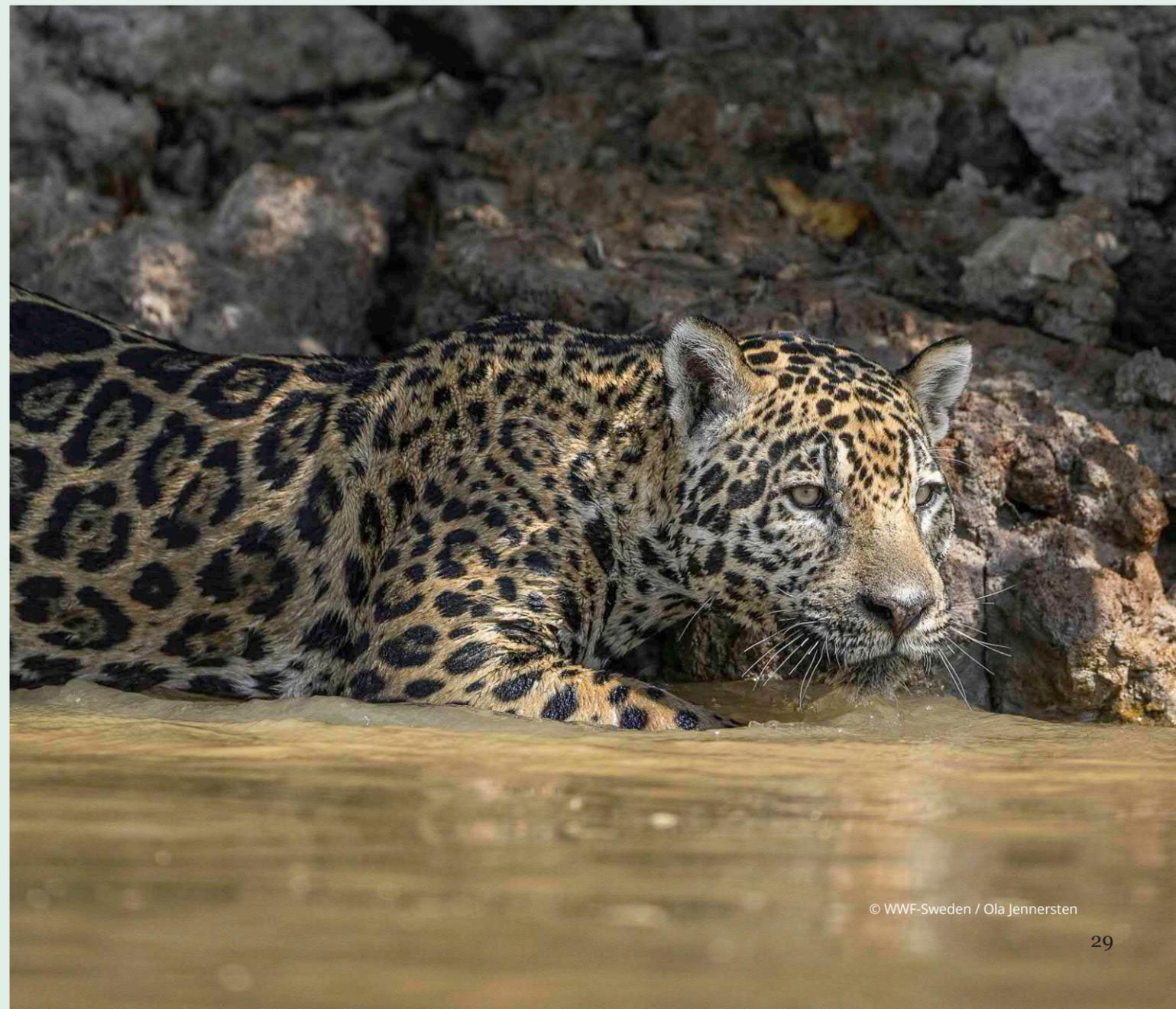
Una variable del paisaje que puede influir en el movimiento del jaguar dentro de PACHA pero que no está incluida en la superficie de resistencia para este análisis es la pendiente. Los expertos sugirieron que las pendientes superiores a 60 grados no son adecuadas para los jaguares, pero no incluimos esta variable porque la cantidad de píxeles con pendientes que exceden este umbral era insignificante con la resolución de 90 m de nuestro análisis. Sin embargo, existen pendientes pronunciadas dentro del paisaje de PACHA, y puede ser útil consultar una capa de pendiente de resolución más fina al considerar acciones de

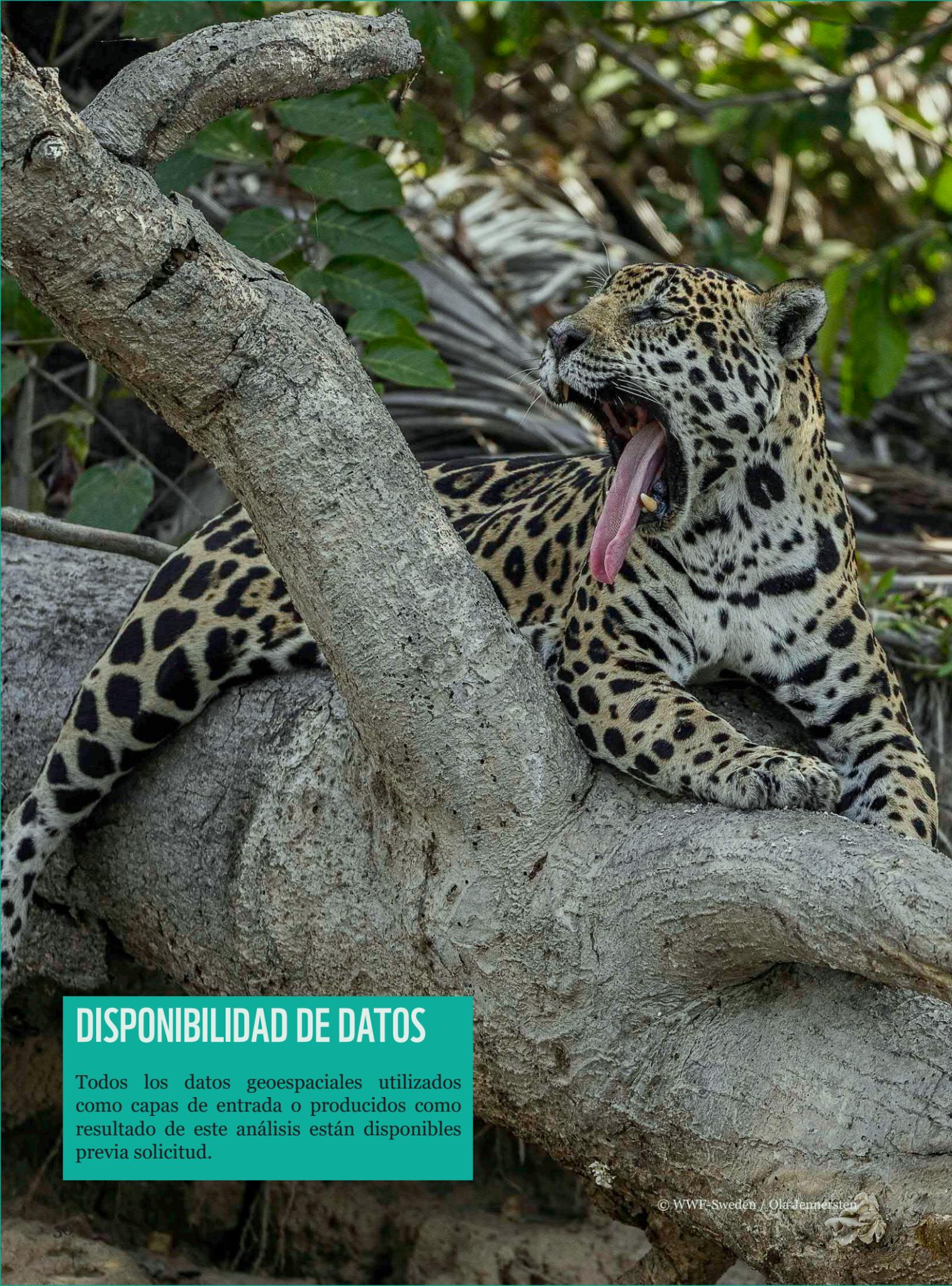
conservación para garantizar una topografía adecuada para los jaguares dentro de los corredores.

El modelo de resistencia de expertos es un primer paso para identificar las prioridades de conservación de la conexión en PACHA, pero la falta de acuerdo con los valores de resistencia asociados a variables del paisaje sugiere que un modelo basado en datos podría proporcionar conocimientos adicionales, y quizás más precisos utilizando datos de movimiento de alta resolución de jaguares con collares GPS en la región (Morato et al. 2018). También hemos colaborado con los autores de un estudio reciente de modelado del hábitat del jaguar (Costa-Alvarenga et al. 2021) para desarrollar una superficie de resistencia alternativa basada en datos empíricos. Se envió una versión preliminar de ese modelo empírico a WWF a fines de 2022, pero CLLC trabaja para perfeccionarlo considerando variables de paisaje adicionales y desarrollando modelos subregionales que consideren la variación en el comportamiento del movimiento del jaguar y las influencias del paisaje en el área de estudio de PACHA. El plan de conservación de la conectividad de PACHA desarrollado por WWF debe considerar corredores identificados tanto por el modelo basado en expertos presentado aquí como por el empírico que se está finalizando, en especial los lugares que ambos modelos coinciden en sitios críticos para los desplazamientos del jaguar.

La información de conectividad contenida en este informe (más el informe de modelado empírico de conectividad) puede servir como base para un diseño de corredores en PACHA que garantice la conservación a largo plazo de la conectividad para el jaguar y otras especies de vida silvestre. Pero un diseño de corredores es un paso en el esfuerzo de planificación de conservación de la conexión para PACHA. Ese esfuerzo

requerirá que WWF y sus colaboradores establezcan prioridades para las acciones de conservación, y el valor de la conectividad de los corredores es sólo un factor que debe considerarse. Deben considerarse entonces otros beneficios ecológicos, económicos y sociales proporcionados por los corredores, los costos de adquisición/protección de la tierra, la magnitud y la inmediatez de las amenazas a los corredores del desarrollo; el grado de apoyo local a la conservación y varias otras consideraciones. Por lo tanto, este informe de conectividad es una parte de un esfuerzo de planificación más integral.





## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Todos los datos geospaciales utilizados como capas de entrada o producidos como resultado de este análisis están disponibles previa solicitud.

© WWF-Sweden / Ola Jennersten

## REFERENCIAS

1. Costa Alvarenga, G., Chiaverini, L., Cushman, S.A., Dröge, E., Macdonald, D.W., Kantek, D.L.Z., Morato, R.G., Thompson, J.J., Oscar, R.B., Abade, L., and F.C.C. de Azevedo (2021). Multi-scale path-level analysis of jaguar habitat use in the Pantanal ecosystem. *Biological Conservation*, 253, p.108900
2. McRae, B.H., and D.M. Kavanagh (2011). Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA. Available at: <https://circuitscape.org/linkagemapper>. Morato, R.G., Thompson, J.J., Paviolo, A., La Torre, J.A., Lima, F., McBride, R.T., Paula, R.C., Cullen, L., Silveira, L., Kantek, D.L.Z., Ramalho, E.E., Maranhão, L., Haberfeld, M., Sana, D.A., Medellin, R.A., Carrillo, E., Montalvo, V., Monroy-Vilchis, O., Cruz, P., Giacomo, A.T., Torres, N.M., Alves, G.B., Cassaigne, I., Thompson, R., Saens-Bolanos, C., Cruz, J.C., Alfaro, L.D., Hagnauer, I., Silva, X.M., Vogliotti, A., Moraes, M.F.D., Miyazaki, S.S., Pereira, T.D.C., Araujo, G.R., Silva, L.C., Leuzinger, L., Carvalho, M.M., Rampin, L., Sartorello, L., Quigley, H., Tortato, F., Hoogesteijn, R., Crawshaw, P.G., Devlin, A.L., May, J.A., Azevedo, F.C.C., Concone, H.V.B., Quiroga, V.A., Costa, S.A., Arrabal, J.P., Vanderhoeven, E., Blanco, Y.E., Lopes, A.M.C., Widmer, C.E., and M.C. Ribeiro (2018). Jaguar movement database: a GPS-based movement dataset of an apex predator in the Neotropics. *Ecology*, 99, 1691. <https://doi.org/10.1002/ecy.2379>
3. Sexton, J. O., Song, X.-P., Feng, M., Noojipady, P., Anand, A., Huang, C., Kim, D.-H., Collins, K.M., Channan, S., DiMiceli, C., and J.R.G. Townshend (2013). Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS Vegetation Continuous Fields with lidar-based estimates of error. *International Journal of Digital Earth*, 130321031236007. Available at: <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.786146>
4. UNEP-WCMC and IUCN (2022). Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA), September 2022 version, Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. Available at: [www.protectedplanet.net](http://www.protectedplanet.net)
5. WorldPop (2018). Global High Resolution Population Denominators Project. School of Geography and Environmental Science, University of Southampton; Department of Geography and Geosciences, University of Louisville; Département de Géographie, Université de Namur) and Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University. Available at: <https://dx.doi.org/10.5258/SOTON/WP00645>
6. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., and O. Arino (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.557193>