
El Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE) de Corantioquia: una determinante ambiental para articular la función ecológica del territorio **The Ecosystem Connectivity Scheme (ECS) of Corantioquia: an environmental determinant for articulating the ecological function of the territory**

Adolfo León Correa Silva y Ricardo José Pérez Montalvo

Resumen

La creciente fragmentación de los ecosistemas naturales, producto de la expansión urbana, agropecuaria y minera, ha intensificado el aislamiento de parches de vegetación, generando efectos negativos sobre la biodiversidad, tales como la pérdida de conectividad genética, la disminución de la resiliencia ecológica y la reducción de la oferta ecosistémica. A pesar de los esfuerzos restaurativos que se realizan en diversos territorios estos suelen ser acciones aisladas, motivadas por buenas intenciones, pero carentes de una directriz regional que garantice su coherencia espacial y funcional. Esta ausencia de coordinación ha llevado a que muchas iniciativas se desarrollen bajo lógicas locales fragmentadas, desconectadas entre sí configurando un mosaico de islotes ecológicos con baja funcionalidad sistémica.

Frente a esta problemática, Corantioquia plantea consolidar una estrategia regional de largo plazo para articular ecológicamente su territorio: el Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE), adoptado mediante la Resolución 040-RES2312-6660 de 2023. Aunque su adopción ha generado inquietudes por tratarse de una nueva determinante ambiental, el ECE no impone restricciones absolutas al uso del suelo, sino que propone una planificación territorial orientada desde la funcionalidad ecológica. Su enfoque reconoce la necesidad de superar las visiones fragmentadas y territorios administrados de forma parcelada, proponiendo en cambio una red interconectada de nodos estratégicos y rutas funcionales que atraviesan los límites administrativos.

Como resultado del proceso técnico, se identificaron 2.021 redes ecológicas que abarcan aproximadamente 846.049 hectáreas dentro de la jurisdicción de Corantioquia. La red fue diseñada a partir de modelos de calidad de hábitat generados para siete especies paisaje y una matriz de resistencia multiespecie, que simula las condiciones del territorio para la movilidad

biológica. Se seleccionaron nodos clave (áreas con más de 50 hectáreas de importancia para la biodiversidad), tomando como referencia el rango de hogar y los requerimientos de dispersión de la Guagua Loba (*Dinomys branickii*), especie sombrilla empleada como criterio base del modelo.

El ECE se convierte así en una plataforma integradora que orienta acciones de restauración, conservación, manejo productivo y compensaciones ambientales, promoviendo la incorporación de criterios de conectividad ecosistémica en los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial. A través de herramientas como las HMP (Herramientas de Manejo del Paisaje), se busca no solo conservar lo existente, sino construir nuevas conexiones funcionales en el tiempo, haciendo posible que una red proyectada desde un modelo técnico se transforme progresivamente en una red viva, tangible y reconocible para los actores del territorio. Este artículo explora el fundamento técnico, normativo y conceptual del esquema, sus implicaciones para la gestión ecológica territorial y su relevancia como estrategia integradora en un escenario de alta transformación del territorio. Además se reflexiona sobre las oportunidades y desafíos de su implementación en el marco de los instrumentos de planificación municipal y regional.

Palabras clave: conectividad funcional como determinante; Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE); fragmentación ecológica en Antioquia; gestión territorial ambiental en Corantioquia; Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP); infraestructura vial y desconexión ecosistémica.

Abstract

The increasing fragmentation of natural ecosystems—driven by urban, agricultural, and mining expansion—has intensified the isolation of vegetation patches, leading to negative impacts on biodiversity such as genetic disconnectivity, reduced ecological resilience, and diminished ecosystem service provision. Despite ongoing restoration efforts across various territories these are often isolated actions, well-intentioned but lacking a regional directive to ensure spatial and functional coherence. As a result, many initiatives operate under fragmented local logics, creating a mosaic of ecological islands with limited systemic functionality.

In response, Corantioquia has proposed a long-term regional strategy to ecologically articulate its territory: the Ecosystem Connectivity Scheme (ECE), adopted through Resolution 040-RES2312-6660 of 2023. Although its adoption has raised concerns for introducing a new environmental determinant, the ECE does not impose absolute land-use restrictions, rather, it promotes territorial planning guided by ecological functionality. The approach seeks to overcome fragmented, parcel-based governance by proposing an interconnected network of strategic nodes and functional routes that transcend administrative boundaries.

As a result of the technical modeling, 2,021 ecological networks were identified, covering approximately 846,049 hectares across Corantioquia's jurisdiction. The network was designed using habitat suitability models for seven focal species and a multispecies resistance matrix that simulates the landscape's permeability to biological movement. Key nodes—areas larger than 50 hectares with significant biodiversity value—were selected based on home range and dispersal requirements of the pacarana (*Dinomys branickii*), used as a representative umbrella species in the model.

Thus, the ECE becomes an integrative platform that guides restoration, conservation, sustainable land management, and environmental compensation actions. It encourages the incorporation of connectivity criteria into planning and zoning instruments. Through the implementation of Landscape Management Tools (LMT), the scheme aims not only to preserve existing corridors but also to build new functional linkages over time, transforming a technically projected network into a living, tangible structure for territorial stakeholders. This article explores the scheme's technical, legal, and conceptual foundation, its implications for ecological governance, and its potential as a comprehensive strategy in the face of rapid territorial transformation. It also reflects on the opportunities and challenges for its integration within municipal and regional planning frameworks.

Keywords: ecological fragmentation in Antioquia; Ecosystem Connectivity Scheme (ECE); environmental territorial management in Corantioquia; functional connectivity as a key determinant; Landscape Management Tools (LMT); road infrastructure and ecosystem disconnection.

Introducción

La fragmentación ecológica es uno de los principales desafíos de conservación en países megadiversos como Colombia, donde las actividades humanas han interrumpido los flujos funcionales entre ecosistemas (Leija, 2021). Aunque el país ha ampliado su cobertura de áreas protegidas, estudios recientes cuestionan su efectividad cuando estas permanecen aisladas, sin corredores funcionales que aseguren la persistencia genética y la resiliencia ecológica (Díaz San Juan, 2025). En Antioquia, y particularmente en la jurisdicción de Corantioquia (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia), se estima que cerca del 70 % del territorio ha sido transformado, conservándose únicamente fragmentos desconectados de los ecosistemas originales (Corantioquia, 2023b). Esta desconexión se expresa de forma crítica en subregiones como el Norte, el Nordeste, Suroeste y el Bajo Cauca, donde los relictos naturales pierden funcionalidad al quedar rodeados por paisajes agropecuarios, urbanos o mineros.

Entre las causas estructurales de esta desconexión se destaca la infraestructura vial. Corredores como la Autopista al Mar y la Autopista del Nordeste interrumpen la continuidad ecológica entre la Serranía de San Lucas y el Parque Nacional Natural Paramillo, limitando conexiones hacia el Urabá y el Chocó biogeográfico. Estos corredores no solo cortan rutas altitudinales clave, sino que se instalan en áreas de transición ecológica de alta biodiversidad (Gobernación de Antioquia, 2022). Adicionalmente, los usos intensivos del suelo —como el modelo lechero en el Norte, la ganadería extensiva en el Bajo Cauca o el crecimiento urbano disperso en áreas periurbanas— aumentan la resistencia del paisaje a los flujos biológicos. Algunas zonas presentan valores altos de resistencia

ecológica acumulada que dificultan la conectividad funcional, como lo revela el modelo de superficie de resistencia del Esquema de Conectividades (Corantioquia, 2023b).

La conectividad no es un concepto reciente. Iniciativas como el Corredor Andino del Oso de Anteojos o el Corredor del Jaguar en América Latina han buscado interconectar hábitats clave mediante grandes franjas territoriales. Sin embargo, estas experiencias han sido promovidas principalmente por ONGs o centros de investigación, sin mecanismos administrativos vinculantes (Sanderson et al., 2002; Freile et al., 2022). Esto ha dificultado su sostenibilidad en el tiempo, dependiendo en exceso de recursos externos y de la voluntad política de turno (Leija, 2021).

Frente a esta problemática, Corantioquia plantea consolidar una estrategia regional de largo plazo para articular ecológicamente su territorio: el Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE), adoptado mediante la Resolución 040-RES2312-6660 de 2023. Aunque su adopción ha generado inquietudes por tratarse de una nueva determinante ambiental, el ECE no impone restricciones absolutas al uso del suelo, sino que propone una planificación territorial orientada desde la funcionalidad ecológica. Su enfoque reconoce la necesidad de superar las visiones fragmentadas y territorios administrados de forma parcelada, proponiendo en cambio una red interconectada de nodos estratégicos y rutas funcionales que atraviesan los límites administrativos. A partir del diseño y análisis de redes ecológicas, el modelo permite articular 2.021 redes que cubren 846.049 hectáreas, apoyándose en criterios multiespecie, modelos de calidad de hábitat y matrices de resistencia derivadas de variables biofísicas y de transformación del paisaje.

El artículo segundo de la Resolución establece que el ECE es una determinante ambiental, de obligatorio cumplimiento en los procesos de planificación y ordenamiento de los entes territoriales de su jurisdicción. Aclara, además, que “su implementación no implica la suspensión de los usos actuales del suelo, sino que se enfoca en su manejo diferencial para reducir la resistencia ecológica del paisaje” (Corantioquia, 2023a, art. 2). El modelo no solo identifica rutas de conectividad funcional entre nodos, sino que incorpora herramientas como Linkage Mapper y la teoría de circuitos eléctricos para mapear los flujos de movilidad potencial entre hábitats, tomando como base siete especies focales y áreas de importancia para la biodiversidad definidas a partir del rango de hogar de la Guagua Loba (*Dinomys branickii*).

La conectividad ecosistémica no requiere exclusivamente de corredores continuos de bosque prístino. Por el contrario, una red funcional puede configurarse mediante rutas estratégicas que atraviesen paisajes transformados, siempre que se implementen Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP) adecuadas. Estas herramientas, definidas en el ECE, incluyen prácticas como cercos vivos, franjas de aislamiento, corredores viales arborizados, restauración pasiva en zonas de rastrojo y mosaicos agroecológicos que integran conservación y producción (Corantioquia, 2023b, pp. 36–41). El diseño de estas rutas no pretende excluir el uso del suelo sino reconfigurarlo para reducir la resistencia ecológica al desplazamiento de especies y restaurar gradualmente funciones ecosistémicas. Este enfoque reconoce la realidad de los paisajes mixtos y propone una conectividad multiescalar, donde las vías primarias de conectividad regional pueden ser complementadas con rutas secundarias y terciarias gestionadas a nivel predial o municipal.

A pesar de su solidez técnica, el ECE ha encontrado resistencias en algunos municipios que lo perciben como una carga adicional de restricciones ambientales sobre el desarrollo territorial local. Esto exige un esfuerzo institucional de diálogo y concertación donde se reconozca que la conectividad ecológica no se opone al desarrollo, sino que lo ordena en función del bienestar ecosistémico y social. La implementación del ECE en territorios altamente transformados plantea desafíos complejos. Sin embargo, el modelo reconoce estas condiciones y propone mecanismos flexibles de gestión paisajística que hacen posible la articulación entre producción y conservación.

Así, el Esquema de Conectividades Ecosistémicas de Corantioquia no se limita a ser un ejercicio de modelación espacial, sino que constituye una propuesta normativa, operativa y territorial que busca convertirse en una herramienta viva de planificación regional, adaptada a los retos y potencialidades del contexto antioqueño.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se desarrolla en la jurisdicción de Corantioquia, una región estratégica que agrupa 80 municipios distribuidos a lo largo del centro de Antioquia, parte del Magdalena Medio, el Suroeste y el Occidente antioqueño, con una extensión aproximada de 36.000 km². Esta área representa cerca del 66% del territorio departamental, con una gran diversidad de paisajes: desde llanuras aluviales y bosques tropicales secos, hasta páramos y bosques húmedos montanos. El ECE fue adoptado por Corantioquia como determinante ambiental para toda su jurisdicción, dado el nivel de fragmentación de todas sus coberturas naturales, con objetivos

específicos de articular ecológicamente este territorio heterogéneo (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio: jurisdicción de Corantioquia y la situación actual de las coberturas naturales.



Fuente: Corantioquia

Este contexto territorial permite dimensionar el alcance del ECE: no se trata de un modelo genérico, sino de una herramienta diseñada para una escala real de planificación, conectando ecosistemas fragmentados, funciones ecológicas y estructuras de gobernanza multisectorial en un área representativa del reto regional.

Enfoque metodológico

La construcción del Esquema de Conectividad Ecosistémicas (ECE) de Corantioquia se fundamentó en los principios de la ecología del paisaje, considerando la conectividad funcional como eje articulador de la planificación ambiental. Se utilizó un enfoque multispecie y multiescalar, incorporando herra-

mientas de modelación espacial para identificar rutas de conectividad, áreas núcleo (nodos) y zonas críticas de intervención. El objetivo fue estructurar una red territorial que combine criterios de conservación biológica con herramientas de planificación operativa, a través de una aproximación teórica sustentada en conceptos de resistencia ecológica, idoneidad de hábitat y movimiento multispecífico.

Selección de especies paisaje y modelación de hábitat

La selección de especies se basó en el enfoque de "landscape species" propuesto por Coppolillo et al. (2004), el cual permite identificar especies cuya conservación implica, a su vez, la protección de múltiples procesos ecológicos y otras especies asociadas. Se priorizaron especies sombrilla, focales y sensibles a la fragmentación, que presentarían amplia movilidad, relevancia ecológica y presencia confirmada o potencial en la jurisdicción.

Se eligieron siete especies representativas, distribuidas en diferentes grupos taxonómicos y tipos de hábitat:

- Guagua loba (*Dinomys branickii*): especie de roedor de gran tamaño, amenazada y con requerimientos de hábitat amplios, cuya área de vida es al menos 50 ha; esta especie de guagua fue utilizada como umbral para definir el tamaño mínimo de los nodos (Roncancio y Vélez, 2019).
- Tigrillo (*Leopardus tigrinus*): felino pequeño asociado a bosques secundarios y relictos boscosos, vulnerable a la fragmentación y con movilidad intermedia.
- Mono aullador rojo (*Alouatta seniculus*)

lus): primate arbóreo clave para el mantenimiento de procesos de dispersión de semillas, indicador de conectividad vertical en bosques maduros y secundarios.

- Perico cariazul (*Pyrrhura calliptera*): especie endémica de los Andes colombianos, asociada a fragmentos de bosque húmedo y áreas de transición.
- Jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*): felino adaptable que puede habitar áreas intervenidas, útil para modelar conectividad en paisajes antropizados.
- Zorro cangrejero (*Cerdocyon thous*): especie generalista, tolerante a disturbios y clave para evaluar la conectividad funcional en agroecosistemas.
- Pava caucana (*Penelope perspicax*): ave frugívora endémica y amenazada, relevante como dispersora de semillas en bosques andinos y subandinos.

Para cada especie, se generaron modelos de calidad de hábitat en formato raster utilizando variables ecológicas, topográficas, climáticas y antrópicas, integradas mediante una ponderación basada en el método de comparación pareada de Saaty (1980). La calidad de hábitat se interpretó como la inversa de la resistencia del paisaje, permitiendo posteriormente construir un modelo de resistencia multiespecie por medio del promedio aritmético de los modelos individuales (Mateo-Sánchez et al., 2014).

Modelo de resistencia y conectividad funcional

El modelo de resistencia multiespecie fue insumo clave para identificar rutas potenciales de conectividad. Se interpretó como una superficie continua de fricción al movimiento,

con valores que oscilan entre 0 (alta permeabilidad) y 100 (alta resistencia) (Majka et al., 2007). Esta superficie se integró como matriz de costo acumulado al software McRae y Kavanagh (2011), bajo el principio de que las especies seleccionan trayectorias de menor riesgo para desplazarse.

La conectividad se modeló usando la teoría de circuitos, lo que permitió identificar múltiples trayectorias potenciales entre nodos. Las rutas generadas fueron evaluadas por su funcionalidad ecológica, cobertura natural y potencial de intervención.

Delimitación de nodos

Los nodos se definieron como áreas núcleo de conectividad con mínimo 50 ha de superficie, seleccionados por su valor ecológico, centralidad dentro de la red y localización estratégica. No todos los nodos presentan actualmente coberturas naturales, lo que implica una visión prospectiva: son puntos idealizados que representan lugares con alto potencial funcional, que deben ser fortalecidos mediante Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP) para cumplir su rol de anclaje ecológico (Corantioquia, 2023c).

Caracterización de la estructura de la red de rutas de conexión ecosistémica

Las rutas generadas entre estos nodos fueron evaluadas con base en su traslape con coberturas naturales, su coherencia con la funcionalidad esperada para las especies modelo y la identificación de vacíos de conectividad. En aquellas zonas con altos niveles de fricción acumulada o sin rutas funcionales evidentes, se propuso la implementación de Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP) adaptadas a los usos actuales del suelo y a los intereses de los propietarios. Estas estrategias incluyen cercas vivas,

restauración pasiva, corredores viales arborizados y sistemas agroecológicos, con el fin de reducir la resistencia ecológica y fortalecer la conectividad funcional.

La estructura de redes conectoras permitió identificar rutas críticas de conectividad, áreas funcionales prioritarias y sitios clave para intervenciones restaurativas, orientando acciones que promuevan la conservación de la biodiversidad en un contexto de gobernanza territorial participativa.

Análisis de fragmentación del paisaje

Para evaluar la estructura ecológica del territorio y sustentar la necesidad de un modelo de conectividad funcional, se realizó un análisis multitemporal de fragmentación del paisaje en la jurisdicción de Corantioquia. Este análisis se fundamentó en los principios de la ecología del paisaje los cuales permiten interpretar la composición, configuración espacial y conectividad estructural de los ecosistemas naturales (Forman, 1995; McGarigal y Marks, 1995).

Se emplearon métricas de paisaje ampliamente validadas a nivel internacional, tanto a escala de clase como de paisaje, incluyendo: Número Total de Parches (NP), Área Media de Parches (AREA_MN), Densidad de Bordos (ED), Índice de Proximidad Media (MPI) y porcentaje de la matriz cubierta por ecosistemas naturales. Estas métricas fueron calculadas con herramientas de procesamiento espacial y análisis de patrones de paisaje, siguiendo los protocolos establecidos por McGarigal et al. (2012) y las recomendaciones de análisis multiescala descritas por Hesselbarth et al. (2019).

El periodo de análisis comprendió los años 2010 y 2018 utilizando como insumo las coberturas naturales procesadas a partir del

Mapa de Ecosistemas del IDEAM a escala 1:100.000. Los resultados permitieron cuantificar los cambios en la estructura del paisaje, evidenciar la pérdida de continuidad ecológica y fundamentar la necesidad de establecer rutas de conectividad y nodos estratégicos para contrarrestar el aislamiento progresivo de los fragmentos remanentes.

Resultados y discusión

Modelo de resistencia del paisaje

La resistencia del paisaje representa el grado en que un territorio facilita o impide el movimiento de los organismos a través de su matriz, condicionando así la funcionalidad ecológica de los ecosistemas remanentes (Adriaensen et al., 2003; Bélisle, 2005). Esta resistencia no depende únicamente de la fragmentación o pérdida de cobertura boscosa, sino también de las características físicas, biológicas y antrópicas que inciden en la permeabilidad del paisaje.

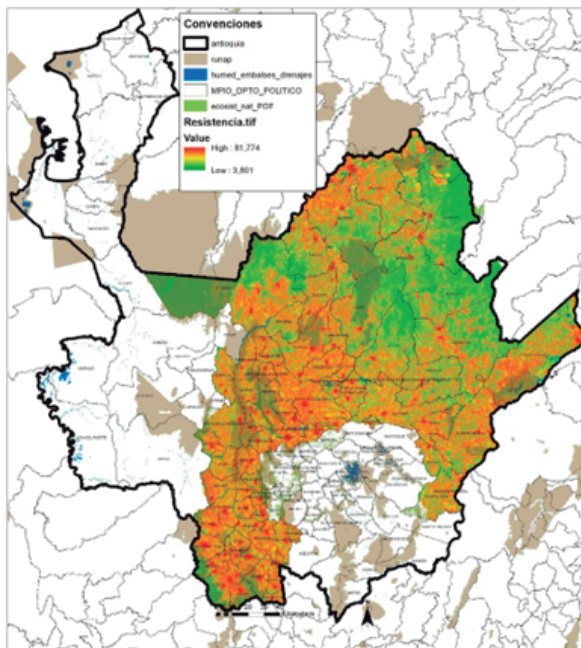
Para construir el modelo de resistencia se partió de los mapas de idoneidad de hábitat generados para cada una de las especies paisaje seleccionadas, integrando variables como tipo de cobertura, pendiente, conectividad estructural, presencia humana y presión antrópica. Posteriormente, se aplicó una operación de Álgebra de Mapas que consistió en calcular el promedio aritmético entre los rásteres de calidad de hábitat, lo que permitió generar un modelo multiespecie.

A partir de este resultado, se aplicó la operación de inversa, obteniendo así la superficie de resistencia multiespecie del paisaje para la jurisdicción de Corantioquia (Figura 2). Esta superficie, cuya mayor parte del área contiene valores de resistencia (R) que van desde R=3.8 %, presenta las zonas con condiciones idóneas para el desplazamiento de

las especies emblemáticas (color verde) con valores de menor fricción para la dispersión y el flujo de procesos ecológicos (Majka et al., 2007), hasta valores de $R=81,7\%$ que presentan las zonas con un alto grado de transformación y/o barreras para la movilidad (color rojo).

Este modelo permitió visualizar con claridad los gradientes de fricción ecológica, identificando zonas de alta resistencia ecológica, como el Altiplano Norte (marcado por una matriz ganadera y lechera intensiva); el Valle de Aburrá (por sus núcleos urbanos densos y la infraestructura vial asociada); el Suroeste con sus grandes extensiones de café, cítricos y áreas ganaderas; así como el Bajo Cauca, por la alta transformación minera y agropecuaria. Estas áreas actúan como barreras funcionales que interrumpen la movilidad de la biodiversidad y fragmentan el sistema ecológico regional.

Figura 2. Resistencia del paisaje en la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.



Fuente: Corantioquia

Las zonas verdes denotan una menor resistencia ($R=3,8\%$) y las zonas rojas una mayor ($R = 81,7\%$).

La superficie de resistencia modelada para el ECE revela gradientes espaciales que permiten identificar los sectores más vulnerables y prioritarios para intervención; zonas con mayor resistencia acumulada, donde la movilidad biológica es más difícil (Figura 3, 4, 5, 6), incluyen:

- Altiplano norte (Municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros y Entreríos): dominado por ganadería lechera intensiva y pasturas homogéneas.
- Nordeste antioqueño (Municipios de Zaragoza, Segovia y Remedios): impactado por minería informal y pérdida de bosque natural.
- Bajo Cauca (Municipios de Tarazá, Caucaasia y Nechí): zonas de transición con presión sobre humedales y fragmentación creciente.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá: donde la urbanización, infraestructura vial y cambios intensivos del uso del suelo elevan al máximo los valores de resistencia paisajística.
- Suroeste antioqueño: en sectores donde la matriz del paisaje se torna más homogénea por el monocultivo del café.

En la figura 3, 4, 5 y 6 se pueden observar distintos escenarios antioqueños caracterizados por usos del suelo homogenizantes, que generan niveles de resistencia altos para la conexión entre ecosistemas naturales.

Sin embargo, también se evidencian amplias zonas con resistencia baja o intermedia, que ofrecen oportunidades para el diseño e implementación de rutas de conectividad ecológica. Entre estas destacan los corredores naturales que podrían articular

Figura 3. Áreas potrerizadas para ganadería.



Fuente: Corantioquia

Figura 4. Zonas cafeteras en monocultivos.



Fuente: Corantioquia

Figura 5. Sabanas del Bajo Cauca.



Fuente: Corantioquia



sectores estratégicos como la Serranía de San Lucas, el Parque Nacional Natural Paramillo, el Magdalena Medio y el Suroeste antioqueño. Este diagnóstico espacial de la resistencia territorial constituye un insumo clave para orientar acciones de restauración, conservación, aislamiento ecológico y producción sostenible.

Modelo de redes ecológicas para la jurisdicción de Corantioquia

A partir del modelo de resistencia multiespecie y la identificación preliminar de nodos con potencial ecológico, se diseñó una red de

conectividad funcional para la jurisdicción de Corantioquia. El resultado fue la proyección de 2.021 rutas de conectividad ecológica, que recorren aproximadamente 846.000 hectáreas del territorio jurisdiccional, orientadas por los gradientes de menor resistencia acumulada.

Estas rutas no corresponden a corredores tradicionales ni a franjas estrictamente boscosas, sino que constituyen un sistema flexible de movilidad biológica que atraviesa paisajes diversos, incluyendo zonas rurales productivas, áreas de reserva, franjas agroforestales y zonas en proceso de restauración.

En muchos casos, las rutas atraviesan sectores sin cobertura boscosa continua, lo que obliga a interpretar el modelo como una proyección idealizada que requiere acciones territoriales concertadas para materializarse gradualmente.

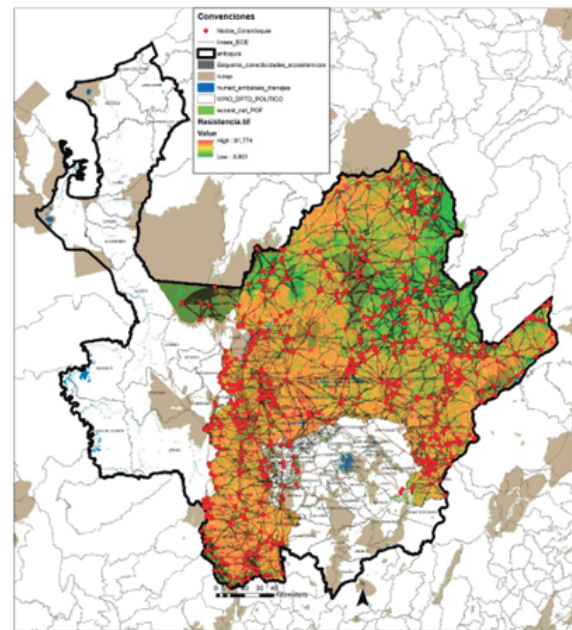
El enfoque multiespecie permitió generar una malla de conectividad que integra nodos estratégicos distribuidos por todo el territorio (Figura 7), favoreciendo la articulación de ecosistemas fragmentados mediante trayectorias de bajo costo ecológico. Este sistema, más que una red fija, debe entenderse como una infraestructura verde proyectada, que puede adaptarse a las condiciones locales y escalarse según las decisiones de ordenamiento territorial.

El Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE) ofrece así una herramienta concreta para incorporar la conectividad ecológica en los procesos de planificación territorial, incluyendo los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT), los Planes de Manejo de Áreas Protegidas, y los Planes de Compensación Ambiental. A través de sus rutas, el ECE orienta acciones diferenciales de manejo del suelo, restauración, reconversión productiva o conectividad predial, sin imponer prohibiciones absolutas, sino articulando usos actuales con la función ecológica del territorio.

Clasificación de rutas y enfoques diferenciales de manejo

El modelo del Esquema de Conectividades Ecosistémicas no solo define rutas ideales de conectividad ecológica, sino que las clasifica en función de sus condiciones actuales, potencial de implementación y tipo de intervención requerida. Para facilitar su gestión, las rutas fueron diferenciadas según su

Figura 7. Redes ecológicas proyectadas sobre la matriz de resistencia multiespecie.



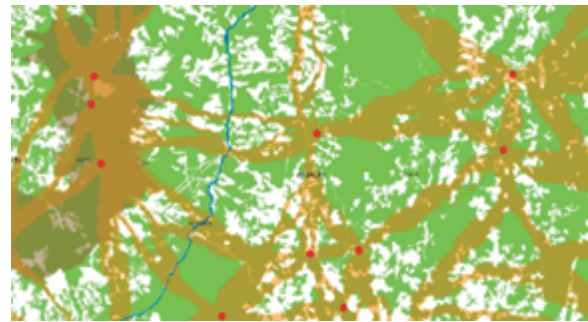
Fuente: Corantioquia

estructura, cobertura y grado de consolidación, en dos grandes categorías:

Rutas preferenciales

Corresponden a trayectorias ya funcionales, generalmente asociadas a coberturas vegetales continuas, presencia de áreas protegidas o sectores con baja resistencia. Estas rutas ofrecen condiciones ecológicas favorables y pueden consolidarse con medidas de bajo costo, como aislamiento ecológico, conectividad predial o restauración pasiva (Figura 8).

Figura 8. Rutas de conectividad ecosistémica con mayores coberturas de vegetación natural.



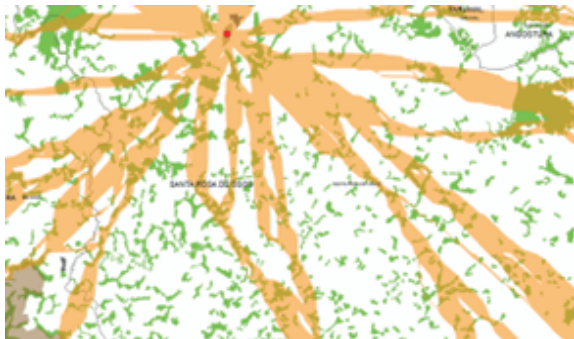
Fuente: Corantioquia

Corredores difusos

Atraviesan matrices más intervenidas, fragmentadas o urbanizadas. En estos casos, la conectividad depende de transformaciones más estructurales del uso del suelo, implementación de Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP), o acuerdos interinstitucionales y comunitarios. Son rutas proyectadas,

pero aún no operativas, que requieren mayor inversión y voluntad política (Figura 9). Sobre estas rutas se pueden presentar conflictos con la fauna silvestre (ataques de felinos sobre ganados), con lo cual es preciso configurar las rutas gradualmente, para orientar los movimientos de la fauna silvestre de manera más concreta.

Figura 9. Diseño de rutas en paisajes altamente intervenidos.



Fuente: Corantioquia

La identificación de los vacíos de conectividad permite priorizar acciones de restauración y manejo del paisaje orientadas a reconectar nodos ecológicos, disminuir la resistencia del entorno y consolidar rutas funcionales. El modelo contribuye así a orientar la incorporación del ECE como determinante en el ordenamiento territorial (Ley 388 de 1997, art. 10), promoviendo la inclusión de suelo de

protección en las zonas nodales y facilitando la integración del ECE en los instrumentos de planificación municipal y en las obligaciones ambientales de proyectos licenciados. Esta base técnica busca generar sinergias entre la planificación ambiental y la gestión territorial, fomentando un modelo de desarrollo que conserve la Estructura Ecológica Principal (EEP) del territorio.

La clasificación del tipo de corredores permite orientar acciones diferenciales según el tipo de presión ecológica y social en cada territorio. Por ejemplo, en municipios rurales con vocación agroecológica o ganadera, pueden promoverse corredores multifuncionales o franjas agroforestales. En cambio, en zonas mineras o urbanas, las intervenciones deben combinar procesos de restauración activa, reconversión productiva o compensación ambiental dirigida. En estas zonas, el uso intensivo del suelo (urbano, ganadero, minero o agroindustrial) ha creado cuellos de botella ecológicos que limitan la movilidad de especies y requieren intervenciones priorizadas mediante herramientas como restauración pasiva, acuerdos de uso del suelo o pasos de fauna (Corantioquia, 2023c).

El modelo no establece restricciones normativas absolutas, sino que propone un sistema operativo de referencia para que los territorios decidan, prioricen y adapten sus acciones según sus capacidades, demandas y estructuras sociales. Así, el ECE se convierte en un insumo orientador y flexible, capaz de articular usos del suelo diversos con la función ecológica regional.

Aplicación territorial del ECE y orientación de acciones de restauración

Uno de los principales retos del Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE) consiste en transitar del modelo técnico a su implementación territorial efectiva. Para ello, se estableció una priorización de rutas basada en tres criterios clave: grado de resistencia ecológica, presión antrópica existente, y potencial de articulación con nodos estratégicos y áreas protegidas.

Las rutas fueron organizadas en franjas diferenciadas que permiten orientar acciones

específicas de manejo del territorio. Algunas rutas presentan condiciones favorables de conectividad, con alta cobertura vegetal, bajo nivel de intervención y cercanía a áreas núcleo; en estos casos, se sugiere consolidar su funcionalidad mediante acciones de aislamiento ecológico, conectividad predial o restauración pasiva. Por el contrario, otras rutas atraviesan sectores con alta resistencia ecológica o conflictos de uso del suelo, lo que demanda intervenciones activas como reconversión productiva, restauración intensiva o implementación de Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP) específicas para cada contexto.

Este análisis permitió clasificar y priorizar rutas según su nivel de factibilidad de implementación. Se destacan las zonas con mayor potencial en regiones como San Lucas, Paramillo, el Suroeste antioqueño y corredores transversales del Magdalena Medio, donde existe viabilidad ecológica, respaldo social y condiciones institucionales para iniciar procesos de restauración y conectividad funcional.

Además, se proyectó una red de intervención territorial que cruza diferentes realidades biofísicas y socioculturales, lo que exige una implementación adaptativa, concertada y escalable en el tiempo. El modelo no impone una única ruta por intervenir, sino que propone una malla de opciones para que los actores locales (municipios, comunidades e instituciones), decidan qué trayectos activar primero, según sus capacidades y prioridades.

Distribución y tipologías de nodos estratégicos

El modelo de conectividad ecológica para la jurisdicción de Corantioquia identificó un total de 645 nodos estratégicos, definidos en

las áreas con potencial de conectividad funcional, con una superficie mayor o igual a 50 hectáreas, en centroides de áreas protegidas o en áreas de distribución potencial de especies emblemáticas base del modelo de Conectividades Ecosistémicas. Estos nodos tienen valor estratégico en términos de articulación entre ecosistemas fragmentados.

Desde el punto de vista espacial, la distribución de los nodos no es homogénea. Se observa una mayor concentración de nodos en zonas con remanentes boscosos continuos, en especial en las subregiones de:

- Suroeste antioqueño, particularmente en áreas de influencia de la Reserva Forestal Protectora Farallones del Citará.
- Noroccidente medio, donde se ubican nodos vinculados al Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño.
- Occidente y Bajo Cauca, con núcleos ecológicos importantes en el DRMI -Distrito Regional de Manejo Integrado- Bosque Seco del Occidente Antioqueño, DRMI Ciénagas El Sapo Hoyo Grande y DRMI Ciénagas Corrales El Ocho.
- Magdalena Medio, con núcleos importantes en el DRMI Cañón del río Alicante.

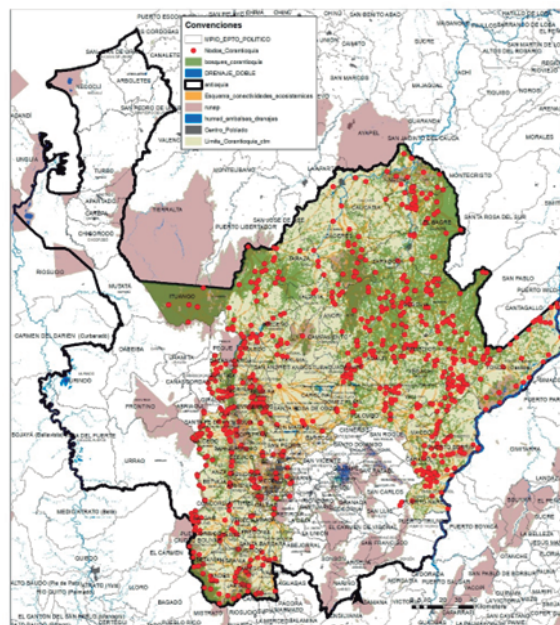
En el plano regional, se destaca una franja de alta densidad nodal en el eje que conecta la Serranía de San Lucas, el PNN Paramillo y el sistema ribereño del río Cauca, actuando como columna vertebral de la conectividad interdepartamental.

Además, algunos nodos fueron ubicados en áreas sin cobertura boscosa densa, pero que cumplen funciones relevantes por su localización estratégica. Esto incluye:

- Hábitats potenciales identificados mediante modelos de distribución de especies emblemáticas como *Dinomys branickii*.
- Centroides de áreas protegidas, que permiten articular la conectividad ecológica con la gestión de territorios legalmente conservados.
- Espacios urbanos o periurbanos, donde remanentes naturales o infraestructura verde cumplen un papel en la conectividad local.

Esta diversidad en la localización y condición de los nodos reafirma que el modelo no se basa únicamente en coberturas existentes, sino que incorpora el potencial de restauración, manejo o reconversión del paisaje como parte de la estrategia de conectividad (Figura 10).

Figura 10. Distribución espacial de los nodos estratégicos del ECE en la jurisdicción de Corantioquia.



Fuente: Corantioquia

Corantioquia determinó a través de la Resolución 040-RES2312-6660, que, dentro del Ordenamiento Territorial local, el conjunto de nodos del ECE serán suelos de protección. En este caso, los polígonos de las áreas boscosas o un área *buffer* de 100 m de diámetro sobre puntos nodales sin coberturas. Los nodos son puntos de anclaje para la restauración ecológica y el manejo del paisaje. A partir del análisis de sus atributos biofísicos, ecológicos y funcionales, los nodos fueron clasificados en cinco tipologías principales, que permiten orientar su gestión diferencial:

- Nodos Núcleo Consolidados: corresponden a áreas naturales bien conservadas, conectadas entre sí, con cobertura boscosa dominante. Son fundamentales para sostener procesos ecológicos continuos y refugios de biodiversidad.
- Nodos de Restauración Activa: son fragmentos con alto potencial ecológico, pero intervenidos o degradados. Su funcionalidad depende de intervenciones intensivas de restauración o reconversión del uso del suelo.
- Nodos de Conectividad Predial:

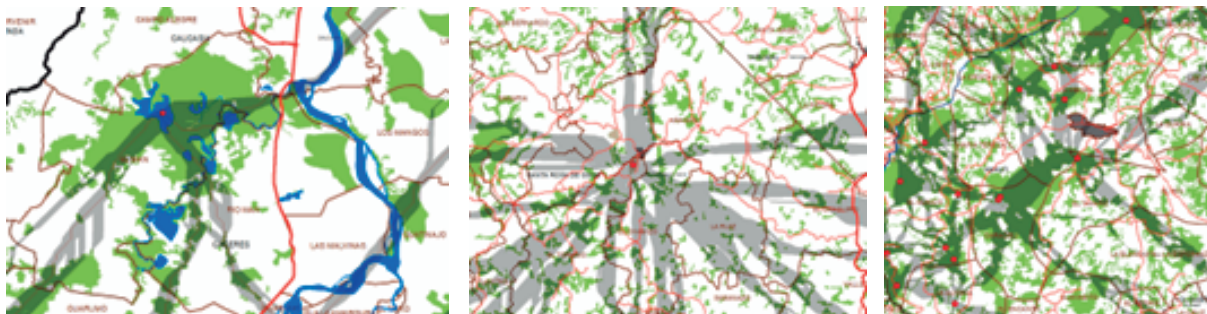
ubicados en matrices agropecuarias, cumplen funciones estratégicas si se vinculan mediante cercas vivas, franjas de aislamiento o arreglos silvopastoriles. Requieren procesos de apropiación comunitaria.

- Nodos Articuladores de Rutas Difusas: no necesariamente presentan cobertura boscosa, pero por su posición estratégica pueden actuar como "Puentes Ecológicos" entre corredores dispersos. Son clave para conectar rutas que atraviesan zonas de alta resistencia.

- Nodos Urbanos y Periurbanos: áreas remanentes dentro o cerca de zonas urbanas que pueden sostener biodiversidad local y contribuir a la conectividad mediante infraestructura verde, humedales urbanos o parques ecológicos.

Esta tipología de nodos permite al ECE transitar de un modelo teórico a un sistema operativo de manejo, estableciendo prioridades de intervención, herramientas adecuadas para cada tipo de nodo y rutas de implementación adaptadas a las realidades sociales, institucionales y ambientales de cada región (Figura 11).

Figura 11. Tipología de áreas nodales dentro del ECE.



Fuente: Corantioquia

Este desfase entre el nodo modelado y la cobertura efectiva del territorio representa uno de los principales retos del ECE: la necesidad de transitar de una representación espacial basada en algoritmos, a una materialización operativa gradual en el territorio.

Esto implica:

- Priorizar nodos que ya cuenten con atributos ecológicos robustos como base de anclaje inmediato.
- Focalizar esfuerzos de restauración ecológica y acuerdos prediales en nodos con baja cobertura, pero alta centralidad funcional.
- Promover la incorporación de los nodos en los instrumentos de ordenamiento territorial como suelos de protección, reconociendo su papel proyectado, más allá de su condición actual.
- Implementar procesos de monitoreo y validación en campo para ajustar o reconfigurar nodos cuando sea necesario, según lo plantean los Términos de Referencia del ECE (Corantioquia, 2023c).

Así, los nodos deben entenderse como elementos dinámicos de gobernanza ecológica, cuya forma y función pueden adaptarse en la medida que avancen los procesos de restauración, conectividad efectiva y planificación territorial, y no como puntos fijos o acabados desde el momento de su modelación.

Aplicabilidad en procesos de planificación y compensación

El Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE) se consolida como una herramienta transversal de planificación ecológica, con aplicabilidad normativa, técnica y estratégica en distintos niveles del ordenamiento territorial y de la gestión ambiental.

En el ámbito del ordenamiento territorial, el ECE fue declarado “determinante ambiental” por medio de la Resolución 040-RES2312-6660, lo que implica su incorporación obligatoria en los POT y PBOT de los municipios de la jurisdicción de Corantioquia, en concordancia con el artículo 10 de la Ley 388 de 1997. En este marco, se espera que las Rutas de Conectividad sean reconocidas como Zonas de Manejo Especial; mientras que los Nodos Estratégicos deben declararse como Suelos de Protección por su papel proyectado como Anclajes Ecológicos Regionales.

Desde el enfoque del licenciamiento ambiental, el ECE proporciona un marco espacial técnico para orientar las obligaciones de compensación, restauración o restauración ecológica activa, promoviendo que estas acciones no se realicen de forma dispersa, sino que contribuyan efectivamente a cerrar brechas funcionales en la red de conectividad.

Sin embargo, a pesar de estos avances, persiste una fragmentación operativa en muchas de las acciones ciudadanas, institucionales o comunitarias que buscan recuperar ecosistemas o restaurar territorios degradados. En la práctica, múltiples actores impulsan iniciativas de reforestación, aislamiento, corredores agroforestales, restauración pasiva o compensación voluntaria, pero muchas de estas acciones se realizan sin referencia a una visión regional de conectividad, lo que limita su efectividad ecológica en el largo plazo.

El ECE ofrece justamente ese horizonte: un marco articulador que puede guiar la priorización espacial de esfuerzos, optimizar recursos y generar sinergias entre proyectos públicos, privados y comunitarios. Pero para que este potencial se concrete, se requiere tras-

cender el “enfoque de plan/modelo” y pasar a una “estrategia territorial de implementación progresiva”.

Esto implica:

- La escalabilidad del modelo a otros niveles subregionales y prediales.
- La creación de sistemas de incentivos (económicos, fiscales, técnicos o normativos) que estimulen la conservación, restauración o el manejo del paisaje en zonas críticas para la conectividad.
- La inclusión del ECE como criterio en convocatorias de proyectos ambientales, Pagos por Servicios Ambientales (PSA), convenios de restauración, acuerdos de conservación y programas de desarrollo rural sostenible.
- El fortalecimiento de una política pública regional que reconozca la conectividad como eje estructurante del desarrollo sostenible, conectando la planificación ecológica con agendas de transición energética, cambio climático, gestión de riesgo y seguridad hídrica.

En suma, el ECE constituye una base sólida para una planificación ecológica de nueva generación pero su eficacia depende de que se convierta en un instrumento vivo, alimentado por las decisiones cotidianas de planeación, inversión, gobernanza y apropiación social en los territorios.

Conclusiones

El Esquema de Conectividades Ecosistémicas (ECE) de Corantioquia representa una innovación en la planificación ecológica regional al integrar criterios funcionales de conectividad con los instrumentos de ordenamiento territorial. Su declaratoria como determinante ambiental brinda una base técnica y normativa para transitar desde un

manejo fragmentado del suelo hacia una gobernanza ecológica articulada y resiliente.

Este modelo contribuye a superar la desconexión entre áreas protegidas, territorios productivos y asentamientos humanos, mediante rutas adaptadas a contextos diversos, desde paisajes rurales ganaderos hasta zonas periurbanas, y un enfoque multiespecie basado en nodos estratégicos y Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP).

No obstante, su implementación efectiva depende de tres factores clave: (1) apropiación local por parte de gobiernos y comunidades; (2) consolidación de incentivos e instrumentos que promuevan su adopción progresiva; y (3) creación de mecanismos de seguimiento y ajuste continuo del modelo.

La articulación entre iniciativas locales y el horizonte regional del ECE será fundamental para que la restauración, la compensación y la conservación se conviertan en piezas coherentes de un rompecabezas ecológico.

Finalmente, el ECE ofrece un referente replicable para otras autoridades ambientales del país, adaptándose a sus escalas y contextos, bajo el principio rector de que la conectividad es una apuesta política, ecológica y territorial para construir redes vivas de sostenibilidad.

Bibliografía

- Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., & Matthysen, E. (2003). The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64(4), 233–247. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00242-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00242-6)
- Bélisle, M. (2005). Measuring landscape con-

- nectivity: The challenge of behavioral landscape ecology. *Ecology*, 86(8), 1988–1995. <https://doi.org/10.1890/04-0923>
- Coppolillo, P. B., Gómez, H., Maisels, F., & Wallace, R. (2004). Selection criteria for suites of landscape species as a basis for site-based conservation. *Biological Conservation*, 115(3), 419–430. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00160-5)
- Corantioquia. (2023a). Esquema de Conectividades Ecosistémicas – Documento soporte técnico. Medellín: Corantioquia.
- Corantioquia. (2023b). Resolución 040-RES2312-6660 de 2023. Por la cual se adopta el Esquema de Conectividades Ecosistémicas como determinante ambiental. Medellín.
- Corantioquia. (2023c). Términos de referencia para lineamientos de ajustes al modelo del Esquema de Conectividades Ecosistémicas. Medellín.
- Díaz San Juan, M. (2025). Los parques nacionales no bastan: se necesita conectividad. *Pesquisa Javeriana*. <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/conectividad-parques-nacionales-pnn/>
- Forman, R. T. T. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press.
- Freile, J. F., et al. (2022). *Dinomys branickii* (Rodentia: Dinomyidae). *Mammalian Species*, 54(1016), 13–27. <https://doi.org/10.1093/mspecies/seac015>
- Gobernación de Antioquia. (2022). *Antioquia 2040: Visión de largo plazo para el desarrollo regional*. Medellín.
- Hesselbarth, M. H. K., Sciaini, M., With, K. A., Wiegand, K., & Nowosad, J. (2019). Landscape metrics: An open-source R tool to calculate landscape metrics. *Ecography*, 42(10), 1648–1657. <https://doi.org/10.1111/ecog.04617>
- Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., ... & Tabor, G. M. (2021). Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. Gland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.en>
- Leija, L. (2021). Conectividad ecológica en México: avances y desafíos. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712032>
- Majka, D. R., Jenness, J. S., & Beier, P. (2007). *Least-cost path toolbox for ArcGIS*. Flagstaff: Northern Arizona University.
- Mateo-Sánchez, M. C., Cushman, S. A., Saura, S., & Estrada, Á. (2014). Connecting biodiversity conservation in a fragmented Mediterranean landscape. *Landscape Ecology*, 29(4), 627–640. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0018-0>
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR-351.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts, Amherst. <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- McRae, B. H., & Kavanagh, D. M. (2011). *Linkage Mapper Connectivity Analysis*

Software. The Nature Conservancy. <https://circuitscape.org/linkagemapper/>

Moscoso-Marín, L. B., Arcila Marín, N., & Hernández Restrepo, R. (2019). Cambios proyectados a 2040 en los ecosistemas de la jurisdicción de Corantioquia de acuerdo con los escenarios de cambio climático del IDEAM. En *Biodiversidad en la práctica*. Documentos de trabajo del Instituto Humboldt, 4(1), 173–188. <https://www.academia.edu/41854680/>

Roncancio, N., & Vélez, M. (2019). Rutas de conectividad: una aproximación a la articulación de los sistemas de áreas protegidas en Colombia. En *Conectando la biodiversidad*, Instituto Humboldt.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.

Sanderson, E. W., Redford, K. H., Vedder, A., Ward, S. E., & Coppolillo, P. B. (2002). A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements. *Landscape and Urban Planning*, 58(1), 41–56. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00231-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00231-6)

Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68(3), 571–573. <https://doi.org/10.2307/3544927>

Cómo citar este artículo

Correa Silva, A. L. y Pérez Montalvo, R. J. (2025). El Esquema de Conectividades Ecosistémicas –ECE– de Corantioquia. *Revista Ambiental ÉOLO*, 20, Crisis climática, desertificación y biodiversidad, pp. 173–191.

Sobre los autores

Adolfo León Correa Silva

Biólogo, especialista en Medio Ambiente y Geoinformática y magíster en Bosques y Conservación Ambiental. Profesional especializado en gestión y conservación de áreas protegidas, con amplia experiencia en planificación y manejo de ecosistemas estratégicos, formulación y seguimiento de instrumentos de gestión ambiental y apoyo técnico a procesos de conservación a escala regional. Ha trabajado como profesional especializado y contratista en la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia), así como consultor del Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt en proyectos de biodiversidad y conservación.

Correo: acorrea@corantioquia.gov.co

Ricardo José Pérez Montalvo

Ecólogo y especialista en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Profesional en áreas protegidas con amplia experiencia en análisis espacial de biodiversidad, conectividad ecológica e integridad ecológica. Cuenta con trayectoria en modelamiento y simulación espacial, diseño de corredores ecológicos, análisis de fragmentación de hábitats, modelos de distribución de especies y evaluación de la integridad ecológica. Ha liderado procesos de declaratoria y formulación de planes de manejo de áreas protegidas y ha trabajado en el fortalecimiento de sistemas de áreas protegidas a escala local, departamental y regional, en articulación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Se desempeña como especialista en SIG en Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Correo: ricardoperezmontalvo@gmail.com



Roberto Palomino Torres