

Evaluación de la conectividad ecológica en el corregimiento de Santa Elena, Antioquia

Yina Sofía Racinez-Jaramillo

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. yracinez@unal.edu.co

Enlace a GitHub: https://github.com/SofiaRacinez/Analisis_Geospacial/tree/master

Received: June 30th, 2023. Received in revised form: June 30th, 2023. Accepted: June 30th, 2023.

Resumen

Este estudio se centró en la evaluación de la conectividad ecológica en el corregimiento de Santa Elena, Antioquia, con el objetivo de comprender los patrones espaciales de fragmentación del paisaje. Se utilizó un enfoque basado en datos y análisis geospaciales y técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar la conectividad y obtener las rutas de conectividad ecológica para el corregimiento.

Los hallazgos revelaron que la región de Santa Elena enfrenta una alta fragmentación del paisaje debido a la expansión urbana, la actividad agrícola y la infraestructura vial. Esta fragmentación ha resultado en la pérdida y separación de hábitats naturales, lo que plantea desafíos para la integridad ecológica y la funcionalidad de los ecosistemas.

Por otro lado, se identificaron 70 corredores ecológicos que actúan como enlaces cruciales entre áreas naturales fragmentadas, permitiendo el flujo genético y el movimiento de especies. Estos corredores son vitales para la viabilidad de las poblaciones y el mantenimiento de los procesos ecológicos. Por lo tanto, es fundamental proteger y conservar estos corredores existentes, así como establecer nuevos enlaces para conectar áreas fragmentadas.

Palabras clave:

1 Introducción

La creciente fragmentación del paisaje debido a la expansión urbana y la transformación de hábitats naturales plantea desafíos significativos para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los procesos ecológicos. En particular, la conectividad ecológica ha surgido como un concepto clave en la planificación y gestión de paisajes, ya que desempeña un papel fundamental en la viabilidad a largo plazo de las poblaciones y en la restauración de los ecosistemas degradados.

En el contexto del corregimiento de Santa Elena, Antioquia, cuya superficie de bosques se encuentran fuertemente perturbados y con un alto grado de desconexión entre ellos, en particular por encontrarse embebidos en una matriz de tierras urbanizadas, tierras dedicadas a diferentes actividades de producción silvícola y agropecuaria, y tierras de reciente suburbanización [1]. No obstante, los bosques de este corregimiento cumplen funciones importantes en términos de recreación para la población metropolitana, así como para la regulación hídrica de áreas abastecedoras de acueductos de una población rural significativa [2]. Es por ello que la evaluación de la conectividad ecológica se convierte en una prioridad para garantizar la conservación de su patrimonio natural y la prestación de bienes y servicios ecosistémicos.

El objetivo de este estudio es llevar a cabo una evaluación de la conectividad ecológica en el corregimiento de Santa Elena, utilizando herramientas de ecología del paisaje y análisis espaciales, a partir de las cuales se pueden identificar los corredores de conectividad ecológica, que a su vez permiten evaluar las restricciones al movimiento de las especies y determinar las áreas prioritarias para la restauración y conservación.

Con este estudio se pretende proporcionar información para el diseño de estrategias de conservación y restauración que promuevan la conectividad ecológica en el corregimiento de Santa Elena. Los resultados obtenidos ayudarán a orientar la toma de decisiones en la planificación territorial, la gestión de áreas protegidas y la implementación de medidas de manejo del paisaje que contribuyan a mantener los procesos ecológicos y preservar la biodiversidad en la región.

2 Materiales y métodos

2.1 Insumos

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los siguientes insumos:

- **Coberturas de la tierra:** corresponden a la capa clasificada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá-AMVA. Escala 1:25.000.
- **Vías:** Obtenidas a partir de la cartografía base del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y complementadas a partir de imágenes satelitales de Google.
- **Drenajes:** Obtenidos a partir de la información cartográfica del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá-POMCA del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

2.2 Área de estudio

Santa Elena es uno de los cinco (5) corregimientos que tiene el territorio rural de Medellín. Abarca un total de 74,15 km². Se localiza en el oriente de la ciudad, Santa Elena sirve de límite natural

entre los Valles de Aburrá, que tiene al río Medellín como eje estructurante del paisaje, y San Nicolás, por donde discurre el río Negro hacia el Valle del Magdalena, principal río del país. El corregimiento está dividido político-administrativamente en 11 veredas, y las principales actividades económicas desarrolladas son agropecuarias, silvícolas, y de servicios asociados a la suburbanización y el turismo [3]. En la Figura 1 se presenta la localización general del corregimiento de Santa Elena.

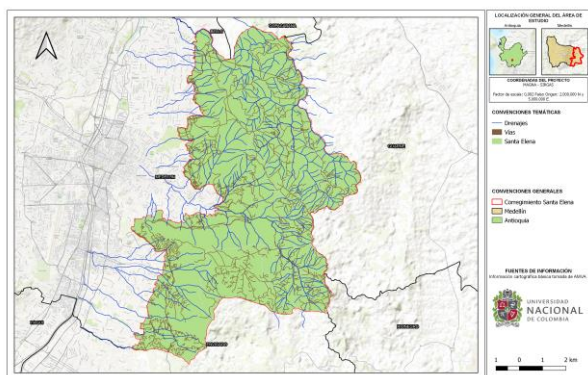


Figura 1. Localización general del corregimiento de Santa Elena
Fuente: Elaboración propia

El territorio se encuentra distribuido en once sectores correspondientes a: Barro Blanco, El Cerro, El Llano, El Plan, El Placer, Las Palmas, Mazo, Media Luna, Piedra Gorda, Piedras Blancas-Matasano y Santa Elena sector central.

El sector Piedras Blancas-Matasano ocupa el 30% del área total del corregimiento, seguido de Las Palmas con un 21,44%, Media Luna con el 12,73%, El Pan con 8,33% y Mazo con 6,76%, el resto de sectores abarcan menos del 5% del total del área, tal y como se muestra a continuación:

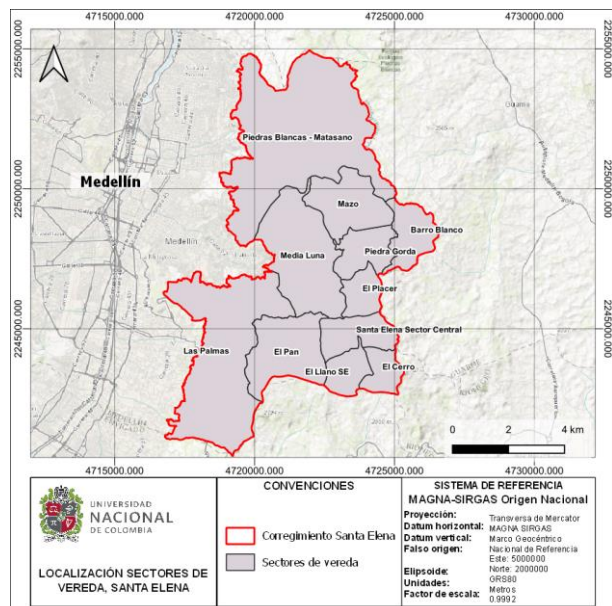


Figura 2. Localización de los sectores en el corregimiento de Santa Elena

Fuente: Elaboración propia, en GitHub mapa interactivo

Por otro lado, en la Figura 3 se muestra la distribución porcentual en términos de área, de cada uno de los sectores de vereda que conforman el corregimiento de Santa Elena, Antioquia.

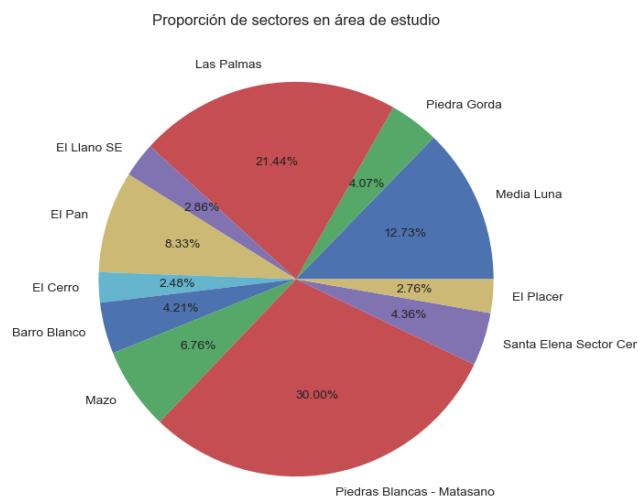


Figura 3. Distribución porcentual de los sectores en el corregimiento de Santa Elena

Fuente: Elaboración propia

En términos de coberturas, el corregimiento de Santa Elena se caracteriza por estar dominado por bosque plantado que ocupa el 30,41 % del total de su área, seguido de las construcciones con el 21,68 %, el rastrojo alto con 18,56 %, el pasto manejado con 11,96 %, el resto de coberturas ocupan menos del 10 % del total del área del corregimiento. En la Figura 4 se presenta la distribución espacial de las coberturas.

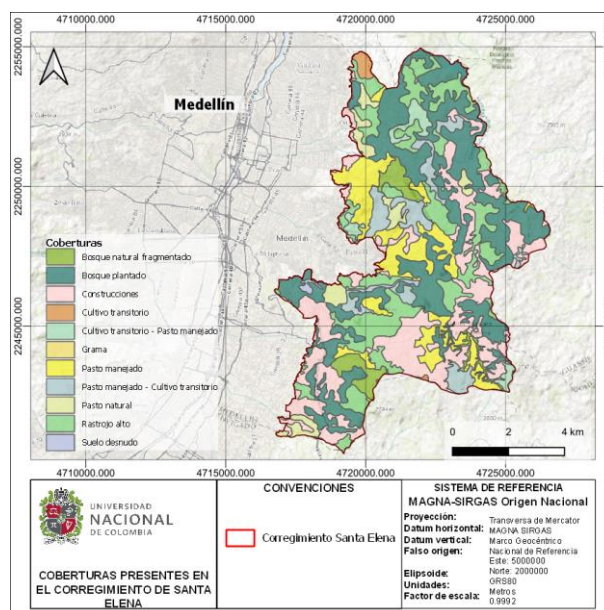


Figura 4. Distribución espacial de coberturas de la tierra en el corregimiento de Santa Elena

Fuente: Elaboración propia, en GitHub mapa interactivo.

En general, los polígonos de coberturas presentan áreas menores 100 hectáreas, con un valor promedio de 38,22 hectáreas, el 50% de los datos se encuentra entre 0,10 y 43,76 hectáreas y existe un polígono con un área de 1.126,12 hectáreas. Aunque el área natural es poca, también se puede observar que la mayoría de polígonos tienen áreas menores a 100 hectáreas y siguen distribuciones similares a las del conjunto de datos general, lo que indica que la

zona está altamente intervenida, bien sea por uso comercial como cultivos y plantaciones o por uso para vivienda (ver Figura 5).

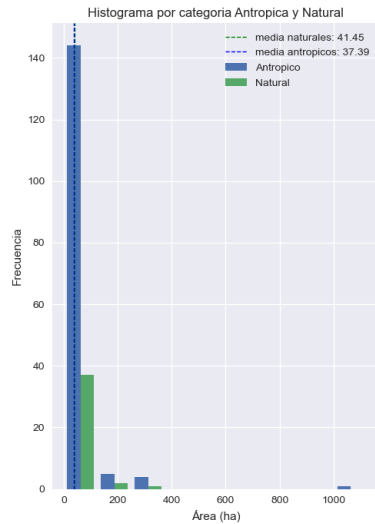
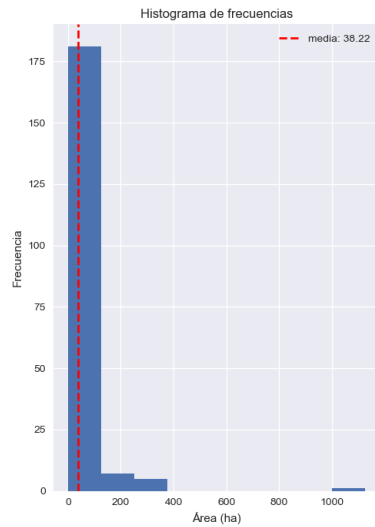


Figura 5. Histogramas de frecuencias por área y tipo de cobertura
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el sector El Pan es el que presenta mayor área de cobertura natural, ya que cerca del 37 % del total de su área está ocupada por esta categoría de cobertura, le sigue Piedra Gorda con el 29,89 %, El Placer con el 28,29 %, Mazo con el 27,52 % y Piedras Blancas-Matasano con el 26 %. El resto de los sectores presentan coberturas naturales en menos del 25 % del total de su área, es importante resaltar que los sectores de vereda localizados en el oriente del corregimiento de Santa Elena presentan los menores porcentajes de cobertura natural, lo que da cuenta de la intervención antrópica a la que está siendo sometido este territorio.

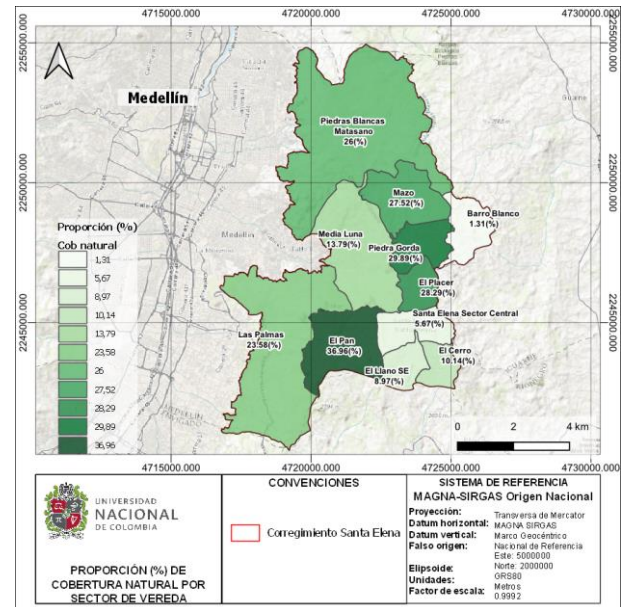


Figura 6. Porcentaje de cobertura natural en los sectores de vereda del corregimiento de Santa Elena
Fuente: Elaboración propia, en GitHub interactivo

2.3 Métodos

Con el propósito de valorar la conectividad ecológica en el corregimiento de Santa Elena, se siguieron los pasos que se describen a continuación.

2.3.1 Definición de las métricas de paisaje estructural

Las métricas del paisaje cuantifican el patrón del paisaje únicamente dentro del límite establecido. En este trabajo se calcularon cinco métricas de paisaje, correspondientes a:

- **Índice de forma media (SI):** Calcula la complejidad de la forma media de los parches en comparación con una forma estándar, como sería la circunferencia en el entorno vectorial i el píxel en el entorno ráster. La forma de un parche está caracterizada por la longitud de sus bordes. Se interpreta que, si los valores son iguales a 1, los patrones de forma son circulares y se incrementa al aumentar la irregularidad de la forma del parche [4].
- **Número de parches (NP):** Conjunto de polígonos pertenecientes a una clase [5]. Se utiliza también como índice de heterogeneidad y como base para el cálculo de otras métricas.
- **Área total:** Extensión total del parche
- **Área interior:** Buffer interior del parche
- **Distancia entre parches:** Medida simple de aislamiento entre parches. La distancia al vecino más cercano se define utilizando la distancia euclidiana simple como la distancia más corta en línea recta entre el parche focal y su vecino más cercano de la misma clase, basado en la distancia entre los centroides de cada uno de los parches.

2.3.2 Definición de los núcleos de conservación a conectar

Según Colorado *et al.*, (2017) a definición y selección de núcleos para la conservación es parte fundamental del diseño de redes de conectividad, ya que en estos núcleos es donde se considera que están presentes la mayoría de las comunidades, especies y demás recursos naturales de interés para la conservación [1]. Por otro lado, Kattan (2002) señala que el área, borde y grado de aislamiento son los principales causantes de la extinción de especies en fragmentos de bosque, debido a esto, los criterios para la

selección de los núcleos de conservación a conectar se basaron en las métricas definidas anteriormente, considerando que estas se relacionan estrechamente con la funcionalidad ecosistémica [6].

Para esto se identificaron inicialmente los fragmentos de bosque natural fragmentado y rastrojo alto, además se tuvo en cuenta que, el área total de los fragmentos fuera mayor a 5,0 ha. Posteriormente se eligieron aquellos núcleos que tuvieran un área interior mayor a 1,0 ha. Así como lo mencionan Colorado *et al.*, (2017) áreas de interior como la sugerida, permiten tener una mayor funcionalidad ecosistémica para poblaciones de fauna y flora con requerimientos de interior de bosque, así como el sostenimiento a largo plazo de procesos biológicos relevantes [1].

Finalmente, se seleccionaron aquellos núcleos cuyo MSI mostraran formas redondeadas o casi redondeadas con algunos brazos de vegetación que facilitaran la conectividad con otros núcleos [1].

2.3.3 Elaboración de mapas de fricción para el desplazamiento de las especies

En este paso se construye un mapa de fricción, los cuales se relacionan con las limitaciones que la matriz del paisaje presenta para el desplazamiento de los individuos [1]. Para ello se realizó una modificación en las variables propuestas por Colorado *et al.*, (2017), en el cual se evaluaron cuatro (4) criterios correspondientes a coberturas, distancia a vías, distancia a drenajes y áreas núcleo, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 1. Criterios empleados para establecer las limitaciones en el movimiento de las especies

| Variable | Criterio | Rangos de la variable | Valoración |
|----------------------|---|--|------------|
| Cobertura | Hábitats boscosos y estados sucesionales avanzados presentan menor dificultad para el desplazamiento | Bosque natural fragmentado y rastrojo alto | 1 |
| | | Pasto natural y bosques plantados, | 2 |
| | | Construcciones, grama, cultivos transitorios, suelo desnudo, cultivo transitorio-pasto manejado, pasto manejado y pasto manejado-cultivo transitorio | 3 |
| Distancia a vías | Las vías limitan el desplazamiento de las especies. A mayor distancia a vías, menor dificultad para el desplazamiento | Distancia entre 0 y 110m | 3 |
| | | Distancia entre 110 y 300m | 2 |
| | | Distancia mayor a 300m | 1 |
| Distancia a drenajes | Los drenajes permiten la movilidad de las especies. A menor distancia a los drenajes, menor fricción | Distancia entre 0 y 110m | 1 |
| | | Distancia entre 110 y 300m | 2 |
| | | Distancia mayor a 300m | 3 |
| Áreas núcleo | Áreas de importancia ecosistémica | Todas tienen la misma valoración | -1 |

Fuente: Elaboración propia a partir de Colorado et al., (2017)

El mapa de fricción se realizó mediante un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP-Analytical hierarchy process) para la toma de decisiones, desarrollado por Thomas L. Saaty (1980) [7].

En este proceso se consultó a tres (3) profesionales: 1 biólogo flora, 1 ecólogo y 1 docente de ecología del paisaje. La ponderación de las variables se realizó con base en el análisis multicriterio (variable), teniendo en cuenta una matriz de doble entrada. Los profesionales realizaron la calificación con base en el aporte de los criterios a la restricción o fricción del movimiento de las especies en el corregimiento de Santa Elena, Antioquia; entendiendo que:

- Si la variable fila prima sobre la variable columna la calificación es un número entero (1, 3, 5, 7 o 9)
- Si la variable columna prima sobre la variable fila, la calificación es una fracción (1/1, 1/3, 1/5, 1/7 o 1/9)

A modo de ejemplo, se presenta la Tabla 2:

Tabla 2. Asignación de calificación a cada variable

| Variable | V1 | V2 | V3 |
|----------|-----|-----|----|
| V1 | 1 | 5 | 7 |
| V2 | 1/5 | 1 | 9 |
| V3 | 1/7 | 1/9 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se muestra la escala numérica, importancia y explicación de las calificaciones que pueden ser otorgadas a cada una de las variables.

Tabla 3. Escala numérica para la calificación a cada variable

| Escala numérica | Escala verbal | Explicación |
|-----------------|---|---|
| 1 | Igual importancia | Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio. |
| 3 | Moderadamente más importante un elemento que el otro | El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro. |
| 5 | Fuertemente más importante un elemento que en otro | El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro. |
| 7 | Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro, | Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica |
| 9 | Importancia extrema de un elemento frente al otro. | Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible |

Fuente: Saaty (1980)

2.3.4 Modelamiento de la red de conectividad ecológica

Para generar la red de conectividad entre los núcleos de conservación definidos previamente, se utilizó el método de la ruta de menor costo para el desplazamiento. Para ello se utiliza un modelo costo-distancia, empleando funciones de Python en el software Qgis v3.22 y el complemento Least Cost Path con las cuales se identifican las rutas de conectividad entre los centroides de los fragmentos (núcleos) sobre cada uno de los mapas de fricción definidos. Utilizando cada núcleo como punto de origen a conectar sobre la superficie de costos creadas se generan redes de conectividad desde los núcleos origen hacia los núcleos destinos por las rutas con menor dificultad para el desplazamiento.

Lo anterior implica que la ruta diseñada corresponda con aquella que posee el menor valor acumulado de desplazamiento sobre la superficie de costos. Una vez obtenidas las rutas de conectividad, se cruzaron con la capa de coberturas de la tierra, previamente reclasificadas, para luego ser comparadas con los resultados obtenidos por Colorado et al., (2017). [1].

3 Resultados y discusión

3.1.1 Definición de las métricas de paisaje estructural

De acuerdo con los resultados de distancia euclidiana al vecino más cercano se tiene que, el parche de área natural más aislado se encuentra a 672.31 metros de un vecino de su misma categoría. La distancia mínima entre parches es de 22.36 metros y el valor medio de distancia es de 156.48. El histograma de frecuencias muestra que al menos 20 parches tienen un vecino cercano a una distancia aproximada de 100 metros (el largo de una calle estándar en la ciudad), lo que puede indicar agrupamiento de parches en algún

sector del corregimiento y por tanto alta fragmentación en esa región de agrupamiento.

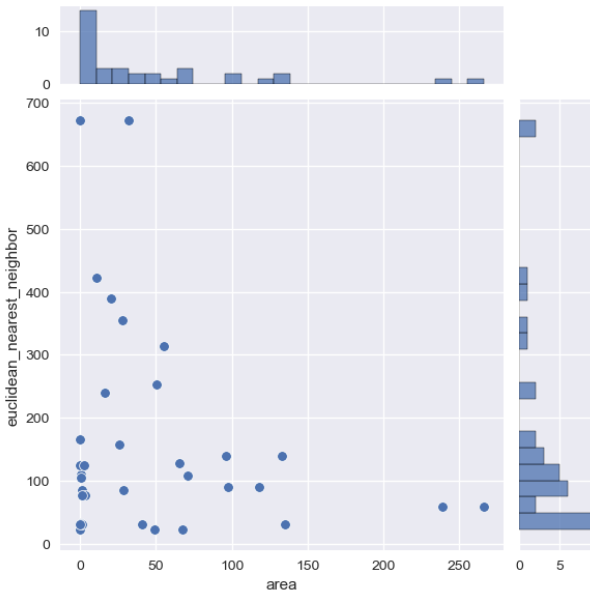


Figura 7. Histogramas de frecuencias por área y distancia euclidiana al vecino más cercano

Fuente: Elaboración propia

Respecto al tamaño de los parches de cobertura natural, se tiene el promedio es de 47,38 hectáreas, oscilando entre 0,01 y 266,08 hectáreas, con una desviación estándar de 47,38. Al menos 26 parches que corresponde con el 75%, tienen un área menor de 70 hectáreas. De acuerdo con los resultados de distancia al vecino más cercano se puede esperar que parches de tamaño menor a 50 hectáreas se encuentren a distancias menores a 150 metros, lo que significa alta fragmentación.

3.1.2 Definición de los núcleos de conservación a conectar

Inicialmente se identificaron 32 núcleos de conservación definidos como coberturas naturales de bosques fragmentado y rastrojo alto, cuyas áreas fluctuaron entre 0,035 y 235,941 ha.

Una vez aplicados los criterios de priorización se obtuvieron 19 fragmentos que en conjunto suman 1586,27 ha, de las cuales 714,07 ha corresponden con áreas de interior y cuyos tamaños oscilaron entre 1,03 y 154,98 ha.

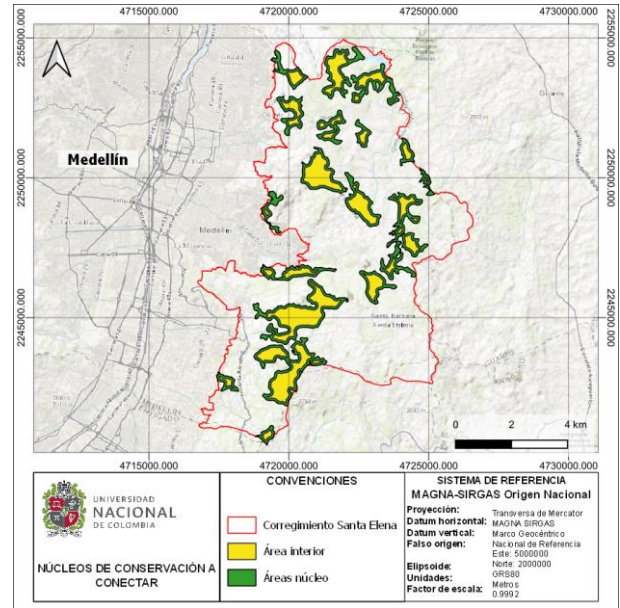


Figura 8. Núcleos de conservación a conectar

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Elaboración de mapa de fricción para el desplazamiento de las especies

La ponderación de las variables definidas para la elaboración del mapa de fricción se muestra en la Tabla 4. Con base en esto, el mayor peso se les asignó a las áreas núcleos (50%), le sigue las coberturas de la tierra con (27%), la distancia a la red hídrica con 17% y finalmente la distancia a las vías le fue asignado un peso de 5%.

Tabla 4. Ponderación de cada una de las variables

| OBJETIVO: El apoyo de las autoridades a la realización y gestión de actividades de los sectores en el corregimiento de Santa Elena, Antioquia | Cobertura suelo | Distancia a la vía | Distancia a la red hídrica | Área núcleo | |
|---|-----------------|--------------------|----------------------------|-------------|----------------------|
| Cobertura | 1 | 5 | 3 | 1/3 | |
| Distancia a la vía | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/7 | |
| Distancia a la red hídrica | 1/3 | 5 | 1 | 1/3 | |
| Área núcleo | 1 | 7 | 3 | 1 | |
| SUMA | 4,33 | 18,00 | 7,30 | 1,81 | |
| | | | | | PROMEDIO |
| Cobertura suelo | 0,2296 | 0,2778 | 0,4187 | 0,1842 | 0,27 |
| Distancia a la vía | 0,0441 | 0,0556 | 0,0278 | 0,0789 | 0,05 |
| Distancia a la red hídrica | 0,0778 | 0,2778 | 0,1389 | 0,1842 | 0,17 |
| Área núcleo | 0,6618 | 0,3889 | 0,4187 | 0,5526 | 0,50 |
| SUMA | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| | | | | | VALOR DE PONDERACIÓN |
| | | | | | 27% |
| | | | | | 5% |
| | | | | | 17% |
| | | | | | 50% |
| | | | | | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Una vez elaborado el mapa de fricción se constató que el corregimiento de Santa Elena presenta fricción media a alta para el desplazamiento de las especies, esto es contrario a lo encontrado por Colorado, *et. al.*, lo cual indica que el corregimiento ha estado presentando una mayor de fragmentación.

Los sectores de vereda que presentan mayores restricciones para el desplazamiento de las especies son Piedras Blancas-Matasano y Las Palmas, con porcentajes de 14,32% y 13,38% de restricción alta, respectivamente. Estos sectores se encuentran localizados en el norte y suroccidente del corregimiento, lo que a su vez se asocia a pasto manejado, cultivo transitorio-pasto manejado y construcciones.

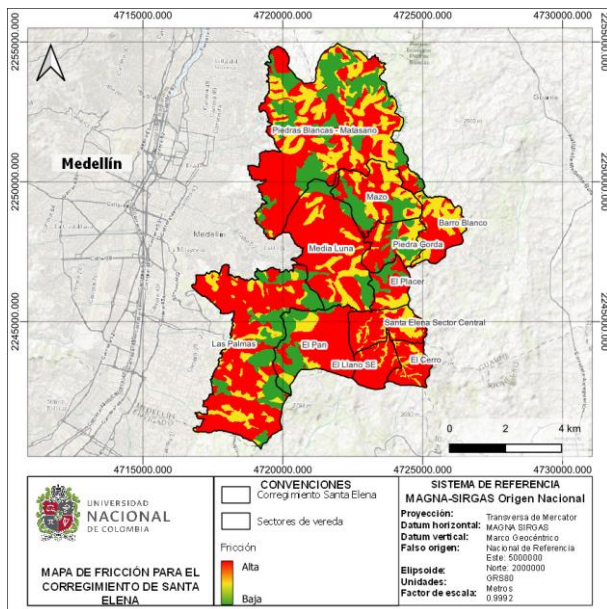


Figura 9. Mapa de fricción
Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Modelamiento de la red de conectividad ecológica

Con base en el modelamiento de la red de conectividad ecológica se obtuvo que, en total se tienen 70 enlaces o corredores de 100 m de amplitud para conectar los núcleos priorizados.

El tamaño de un corredor promedio es de 4,87 ha \pm 10,92 ha. Por otro lado, teniendo en cuenta las coberturas por las cuales se trazaron los corredores se tiene que los bosques plantados representan el 47,76 % de la cobertura presente en los corredores propuestos, y en un porcentaje menor se encuentran los rastrojos naturales y el suelo desnudo con 0,28 y 1,92 %, respectivamente.

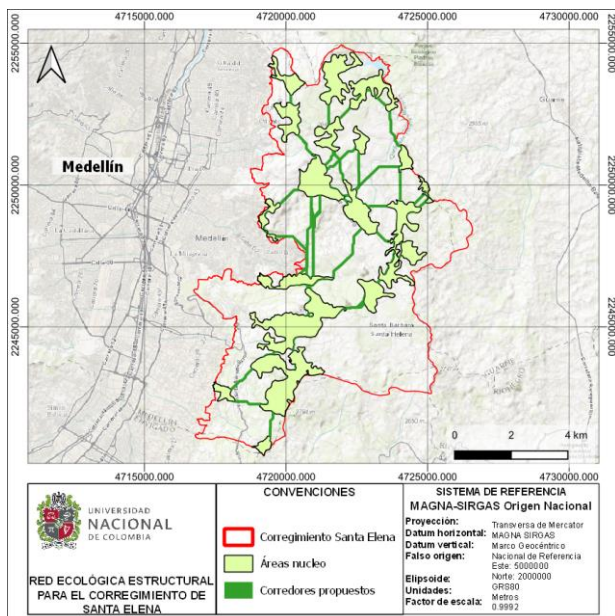


Figura 10. Red ecológica estructural propuesta para el Corregimiento de Santa Elena

Fuente: Elaboración propia

Los corredores ecológicos constituyen una herramienta valiosa para la conservación de la biodiversidad a escala de paisaje, lo que adquiere mayor relevancia en paisajes fragmentados en áreas urbanas y periurbanas en donde la intervención antrópica es marcada, y tanto los bosques y corredores naturales son limitados y se encuentran en una matriz modificada [1].

Este ejercicio de modelación a partir de análisis geoespacial y herramientas de Sistemas de Información Geográfica-SIG, permitió seleccionar 19 parches de bosques y rastrojo alto que estarían conectados por 70 corredores.

La red de conectividad ecológica propuesta tiene resultados distintos a los encontrados por Colorado, *et. al.*, Esto se debe a la diferencia entre los núcleos de conservación definidos y las variables utilizadas, además, a que si bien el paisaje ecológico se encuentra fragmentado, existen parches de cobertura natural suficientemente grandes que permiten el trazado de más de una ruta de conexión con otros parches.

Es importante mencionar que, los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser mejorados con la inclusión de otras variables físicas como pendientes, densidad de drenaje, entre otras; en caso de requerir la definición de corredores específicamente para alguna especie, se hace necesario entonces la inclusión de datos de avistamiento de la misma, así como consulta bibliográfica que pueda ser de utilidad a la hora de determinar las posibles rutas de movilidad.

4 Conclusiones

En este estudio, se realizó una evaluación de la conectividad ecológica en Santa Elena, Antioquia, con el objetivo de comprender los patrones espaciales de fragmentación del paisaje. A partir del análisis de datos geoespaciales y técnicas de SIG, se obtuvieron los siguientes hallazgos y conclusiones clave:

1. Se identificaron corredores ecológicos clave: Mediante el análisis de conectividad, se identificaron corredores ecológicos del corregimiento de Santa Elena. Estos corredores actúan como enlaces cruciales entre áreas naturales fragmentadas, permitiendo el flujo genético y el movimiento de especies, lo que contribuye a la viabilidad de las poblaciones y al mantenimiento de los procesos ecológicos.
2. La fragmentación del paisaje es significativa: Se observó una alta fragmentación del paisaje en el corregimiento de Santa Elena, principalmente debido a la expansión urbana, la actividad agrícola y la infraestructura vial. Estos procesos han dado lugar a la pérdida y separación de hábitats naturales, lo que compromete la integridad ecológica y la funcionalidad de los ecosistemas.
3. Importancia de la conservación y restauración de la conectividad: Los resultados resaltan la necesidad de implementar medidas de conservación y restauración que promuevan la conectividad ecológica en Santa Elena. Esto incluye la protección de los corredores identificados y la creación de nuevos enlaces para conectar áreas fragmentadas. Además, se deben considerar enfoques de restauración para rehabilitar áreas degradadas y mejorar la conectividad del paisaje.
4. Consideraciones socioeconómicas y de gobernanza: La planificación e implementación de estrategias de conectividad ecológica debe tener en cuenta las consideraciones socioeconómicas y de gobernanza Enel

corregimiento de Santa Elena. Es fundamental involucrar a las comunidades locales, las autoridades ambientales y otros actores relevantes en la toma de decisiones, promoviendo la participación activa y el manejo sostenible de los recursos naturales.

5. La importancia de la colaboración interdisciplinaria: La evaluación de la conectividad ecológica requiere una aproximación interdisciplinaria, integrando conocimientos científicos, técnicas de SIG, análisis geoespacial y la participación de expertos en ecología, planificación del paisaje y gestión ambiental. La colaboración entre diferentes disciplinas y la integración de datos y enfoques complementarios enriquecen la comprensión de la conectividad ecológica y respaldan la toma de decisiones informadas.

Los resultados y conclusiones obtenidos pueden servir como insumos para la formulación de políticas, la planificación territorial y la implementación de acciones concretas que fomenten los procesos de restauración ecológica y la biodiversidad en la región.

5 Referencias

- [1] G. J. Colorado Zuluaga, J. L. Vásquez Muñoz y I. N. Mazo Zuluaga, «Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia),» *Acta Biológica Colombiana*, vol. 22(3), n° DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>, pp. 379-393, 2017.
- [2] Alcaldía de Medellín, «Propuesta de gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para Medellín. Síntesis del documento técnico de soporte,» p. 242, 2014.
- [3] Grupo HTM-Municipio de Medellín, «Plan Especial de Ordenamiento Corregimental de Santa elena. Fase Diagnóstica. Tomos I-VI. Sin publicar,» 2009.
- [4] G. Britto, «Análisis de métricas de paisaje en el departamento del Amazonas entre los años 2002-2018,» Bogotá, Universidad Antonio Nariño, 2021, pp. 1-46.
- [5] C. Monedero y M. Gutiérrez, «Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistemamontañoso tropical El Ávila,» *Ecotropicos*, vol. 14, pp. 19-30, 2001.
- [6] G. H. Kattan, «Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Ecología y conservación de Bosques Neotropicales.,» Ediciones UR. Cartago, 2002, pp. 561-590.
- [7] T. Saaty, «The analytic hierarchy process (AHP) for decision making.,» *Kobe*, vol. 1, p. 69, 1980.