

## PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PARA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN LA SERRANÍA DE LAS QUINCHAS (COLOMBIA)

### PROPOSAL FOR THE ZONING OF AREAS FOR ECOLOGICAL CONNECTIVITY IN THE SERRANÍA DE LAS QUINCHAS (COLOMBIA)

Oscar Vallejo Murcia <sup>1</sup> , Jair Preciado Beltrán <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia., *Email:* [ovallejom@correo.udistrital.edu.co](mailto:ovallejom@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia., *Email:* [jpreciadob@udistrital.edu.co](mailto:jpreciadob@udistrital.edu.co)

**Para citar este artículo:** Vallejo Murcia, O., & Preciado Beltrán, J. (2022). Propuesta de zonificación de áreas para conectividad ecológica en la Serranía de las Quinchas (Colombia). LOGINN Investigación Científica Y Tecnológica, 6(2). <https://doi.org/10.23850/25907441.5105>

Recibido: 10 de julio de 2022

Aceptado: 20 de octubre de 2022

Publicado en línea: 16 de noviembre de 2022

#### Resumen

.....  
**Palabras clave:**

Áreas protegidas, Conservación, Fragmentación, Planificación regional, Preservación, Restauración.

**JEL:**  
Q2; Q5;  
Q56

La Serranía de las Quinchas se localiza en el Magdalena Medio en Colombia, con bosques en buen estado de conservación, alta biodiversidad y altos niveles de endemismo. Sin embargo, presenta conflictos socioambientales derivados de la presencia de actores sociales que desarrollan cultivos ilícitos, aprovechamiento ilegal del bosque y actividades asociadas a la explotación de petróleo y gas natural. La presión antrópica en la zona ha generado la transformación del paisaje, evidenciado un proceso de fragmentación, fragmentación reflejado en la pérdida de masa forestal y biodiversidad. A fin de garantizar la conectividad de los fragmentos de bosque existentes, se realizó una zonificación de áreas para la conectividad estructural. Utilizando criterios físicos, socioeconómicos y bióticos, se generaron los modelos de resistencia y conectividad, resultando que el 40,8% de la zona presenta una alta a muy alta conectividad en la que se propone preservación y protección, con conectividad media se registró el 19,8% con la propuesta de protección y restauración, el 39,4% son áreas con conectividad baja a muy baja en las que se proponen actividades sostenibles, sistemas silvopastoriles y agroforestales.

#### Abstract

.....  
**Keywords:**

Conservation, Fragmentation, Preservation, Protected areas, Regional planification, Restoration.

The Serranía de las Quinchas is located in the region called Magdalena Medio in Colombia, with well-conserved forests, high biodiversity, and high levels of endemism. However, there are socio-environmental conflicts derived from the presence of social actors that grow illicit crops, perform illegal use of the forest, and develop activities associated with oil and natural gas exploitation. The anthropic pressure in the area has transformed the landscape, resulting in a fragmentation process that is reflected in the loss of forest density and biodiversity. In order to ensure the connectivity of existing forest fragments, a zonification of the areas was performed to identify the levels of structural connectivity, using physical, socioeconomic, and biotic criteria. Resistance and connectivity models were generated, resulting in 40.8% of the area with a very high level of connectivity to a high level of connectivity in which preservation and protection are proposed, 19.8% with a medium level of connectivity with the proposal of protection and restoration, 39.4% are areas with a low level of connectivity to a very low level of connectivity in which sustainable activities, silvopastoral and agroforestry systems are proposed.

## Introducción

La fragmentación del bosque natural es uno de los mayores problemas de los bosques tropicales ya que afecta la conectividad entre las especies y crea un patrón dentro del territorio, influyendo directamente en la dinámica de las poblaciones (Gurrutxaga, 2013).

Considerando que en la Serranía de las Quinchas se encuentran ecosistemas de alto valor ecológico como bosques densos altos, bosques de galería de los ecosistemas de montañas estructurales que se localizan en el gran bioma del bosque húmedo tropical y zonobioma húmedo tropical (ZHT) Magdalena-Caribe, que han sido fragmentados, por las actividades de producción agropecuaria, construcción de infraestructura para la comunicación, (Garzón et al., 2014), cultivos ilícitos, cacería furtiva, tala indiscriminada, la construcción de un gasoducto en la Serranía, ha afectado negativamente la vegetación original, se debe garantizar la conectividad de los fragmentos de bosque que permita la movilidad de las especies y asegure la permanencia de los recursos que satisfagan sus requerimientos y realizar sus ciclos vitales (Aldana y Bosque, 2008).

Teniendo en cuenta que la degradación de calidad de hábitat se relaciona con la fragmentación de los bosques, motor principal de pérdida de biodiversidad, se estima que los corredores biológicos facilitan la conectividad estructural y funcional de las especies, es una estrategia que contribuye a la conservación de la biodiversidad a nivel de paisaje (Colorado et al., 2017). De acuerdo con Bennett, (2004), un único corredor biológico no supe las necesidades de todas las especies, siendo indispensable contar con varios conectores ecológicos que satisfagan los requerimientos para el desplazamiento de las diferentes especies que viven en un ecosistema transformado.

Aun cuando la conectividad y restauración ecológica a escala de paisaje se originaron como respuesta a la fragmentación del hábitat y la intensificación del uso de la tierra, se enfocan también en los discursos de adaptación al cambio climático y resiliencia ecológica, conservación y restauración de la vegetación nativa y biodiversidad. (Wyborn, 2011).

La conectividad se refiere al nivel donde el ecosistema favorece o restringe la movilidad entre zonas boscosas (Taylor et al., 1993) y es una de las propuestas para mitigar la fragmentación (Taylor et al., 1993) e (Isaacs et al., 2017). Garantizar la movilidad entre parches tiene la finalidad de preservar la conectividad presente y recuperar las intervenidas favoreciendo la sobrevivencia de las especies en el tiempo (Kelly et al., 2008) y (Bennett, 2004). Una de las técnicas usadas para modelar la conectividad se basa en una grilla de resistencia que evalúa el grado de dificultad, el riesgo de mortalidad y el costo energético del movimiento de las especies entre parches de bosque a través de la grilla (Keitt, 2000) y (McRae et al., 2013). Esta técnica requiere el uso de variables y criterios definidos previamente en los que se asignan valores a las variables de acuerdo con el grado en que faciliten la dispersión de los organismos (Bennet, 2004).

La capacidad de dispersión de un organismo se puede entender como la posibilidad física de cambiar de ecosistema con el fin de asegurar mejores condiciones de vida para su existencia y reproducción (De Los Reyes, 2016) y se puede analizar indirectamente a través de mapas de fricción o resistencia (McRae et al., 2013). El tipo de premisas utilizadas para asignar valores a las variables son diversos (Laurance, 1997). Por ejemplo, cuando los desplazamientos se realizan por la vía más corta entre dos o más áreas boscosas, el costo energético de los desplazamientos de las especies es menor, es decir, a menor distancia menor costo (Phillips y Navarrete, 2009).

La clasificación y delimitación de las coberturas se realizó con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000 (IGAC, 2008); que aporta las condiciones propias requeridas para el estudio de los recursos naturales del territorio, evaluando la forma de ocupación del territorio y actualizando el conocimiento de las transformaciones de las coberturas de la tierra (Suarez et al., 2016), que permitan proponer categorías de zonificación y facilitan las decisiones dirigidas a la recuperación y sostenibilidad de los recursos a mediano y largo plazo en la zona, siendo una alternativa el incluir las actividades de compensación establecidas en la legislación colombiana como contribución para la preservación y restauración, beneficiando procesos de conectividad y alternativas de uso sostenible para las comunidades (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

La Zonificación de Uso es un instrumento diseñado para asegurar la realización de las metas de conservación de las áreas protegidas, estableciendo los usos permitidos al interior de estas áreas (Aldana y Bosque, 2008). La eficacia de esta herramienta es limitada debido a diversos actores que pueden interactuar con las áreas protegidas, afectando positiva o negativamente la conservación del patrimonio natural (Aldana y Bosque, 2008). De otro lado, la zonificación ambiental integra factores biofísicos, sociales y económicos, permitiendo discriminar las áreas productivas, conservación, desarrollo económico, recreación y espacios comunitarios bajo diversas categorías de manejo y usos permitidos de acuerdo a la normatividad, clasificando las unidades de acuerdo con aspectos productivos, económicos, recreativos y de conservación (Rodas, 2015). La zonificación ambiental orienta el manejo del territorio y busca el uso y conservación de los recursos naturales bajo directrices de sostenibilidad, manteniendo la organización y funciones ecológicas, que son la base natural de los recursos de las áreas categorizadas (Rodas, 2015).

Por consiguiente, el presente trabajo propone la zonificación de áreas para la conectividad estructural en la Serranía de las Quinchas que promueva la conservación y se constituya en un instrumento para la planificación, toma de decisiones de las entidades gubernamentales, mediante la elaboración de mapas de fricción, conectividad y zonificación de áreas para la preservación, protección, conservación y uso sostenible.

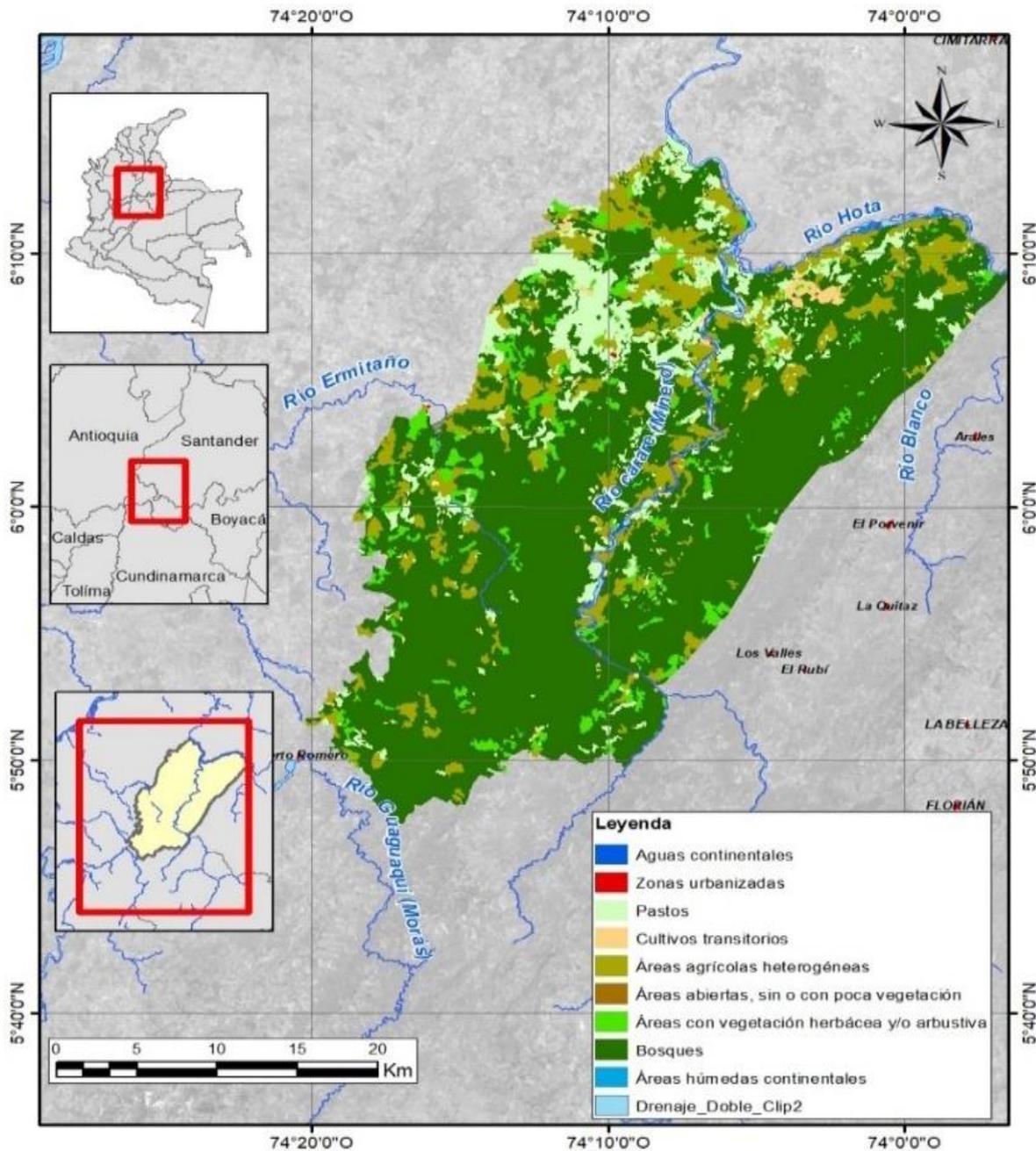
## **Metodología**

### **Área de estudio**

La zona de estudio tomada en la Serranía de Las Quinchas tiene una extensión de 104.180,3 Has en los municipios de Puerto Boyacá y Otanche, departamentos de Boyacá; Bolívar, Cimitarra, El Peñón y Sucre, en el departamento de Santander, en un rango altitudinal que va desde 380 m a orillas del Magdalena hasta 1500 m, corresponde a las zonas de vida: tropical, de 380 a 1000 m y sub- Andina de 1000 a 1500 m. (Balcázar et al., 2000). Figura 1.

La Serranía de las Quinchas ha logrado obtener atención de científicos y expertos ambientales, destacando su importancia como centro de endemismos en Colombia y su relevancia ecológica de la zona. La relevancia de la formación biogeográfica y evolutiva en la región llamada Refugio Pleistocénico del Carare, donde están presentes componentes bióticos Meso- Magdalena, los cambios climáticos extremos sucedidos en las etapas geológicas nombradas, es otro aspecto que explica en gran medida su asombrosa biodiversidad (Camacho et al., 1992), (Stiles y Bohórquez, 2000), (Laverde y Stiles, 2005), destacan la relevancia de protección de aves endémicas, resaltando la Serranía de las Quinchas como un Área Importante para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad (AICA).

**Figura 1**  
Inventario de la información consultada.



Nota: Cobertura de la tierra y ubicación relativa de la Serranía de las Quinchas. Escala 1:25.000.  
Los bosques en color verde oscuro relacionan la cobertura de mayor extensión.

Fuente: Elaboración propia

En jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander se ubica el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas, la Reserva Forestal del Río Minero y el Distrito Regional de Manejo Integrado del Río Minero. En jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá se encuentra el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas y la Reserva de la Sociedad Civil

“El Paujil”. Las principales características y particularidades ecológicas ambientales que hacen de La Serranía de Las Quinchas, un área de interés prioritario para la conservación y justifican ampliamente los esfuerzos interinstitucionales a nivel global, nacional y local, garantizando lograr representar la Serranía de las Quinchas, como área importante para el mantenimiento de especies de plantas y animales prioritarias, endémicas o amenazadas según la UICN, (Acuerdo 116 de 2009). Según Corpoboyacá, se registran 22 especies de mamíferos, cuatro de anfibios, 18 de reptiles y más de 1036 especies, distribuidas en 496 géneros y 118 familias; el 76.4% (791 especies) corresponde a dicotiledóneas, el 16.8% (174 especies) a monocotiledóneas, el 6.8% (70 especies) a pteridófitos y el 0,1% (1 especie) a gimnospermas. (Balcázar et al., 2000), los biomas de la selva subandina y selva basal o inferior (bosques higrofiticos) se hallan en buen estado de conservación considerando que el 65% de la zona corresponde a áreas naturales, el 10,3% a áreas seminaturales y el 24,7% a áreas transformadas y endemismos. La selva basal registra individuos de *Nectandra globosa*, *Ocotea* spp (Laurel) y *Psychotria poeppigiana* y en el segundo se hallan *Caryniana pyriformis*, *Anacardium excelsum*, *Isidodendrom cabreræ*, *Virola peruviana*, *Cedrela odorata* y *Mahechadendron punctecascarillo*, (Acuerdo 116, 2009).

Es refugio de aves endémicas de Colombia, *Crax alberti* catalogado en Peligro Crítico, acorde con lista roja de especies de la UICN, el *Ara militaris* en estado Vulnerable y *Aburria aburri* Casi Amenazada, *Andinobates virolinensis* (En peligro), *Ramphastos tucanus* en estado Vulnerable, *Leopardus pardalis*, *Tremarctos ornatus* en estado Vulnerable, *Myrmecophaga tridactyla* categorizado en Vulnerable, (Martínez, 2021).

60 nuevos registros para la Serranía de las Quinchas, contabilizando 368 especies de aves de 51 familias, se consiguieron los primeros registros de tres familias de aves acuáticas (categoría IVb) en la laguna de Hacienda Balcones: *Podicepsidae*, *Threskiornithidae*, *Jacaniidae*. Se obtuvieron por primera vez 250 registros de la familia *Cracidae*, el aumento en el número de especies en las familias *Icteridae* y *Psittacidae* (5 y 4 especies), pasando a 10 especies cada una. (Laverde y Stiles, 2005).

La Serranía de las Quinchas posee una enorme biodiversidad que la ha hecho objetivo de preservación por las entidades encargadas de la conservación de los recursos naturales, desde el año 2008 se han declarado en el territorio un total de 96.804,83 Has como áreas protegidas, igualmente las dos corporaciones establecieron mecanismos jurídicos para la protección de las áreas protegidas desde hace trece años. En contraste, es también territorio donde convergen una serie de actores sociales que han venido degradando el bosque y sus recursos. En efecto, en los últimos años se ha visto la presencia de actores del conflicto armado, reporte de cultivos ilícitos, prácticas de ganadería, colonos que explotan los bosques de forma ilegal y recientemente se han evidenciado actividades asociadas a la minería (Romero, 2019). Sin embargo, los procesos de afectación de los ecosistemas vienen presentándose desde hace más de cuarenta años (Navajas, 2016) y (Romero, 2019). La presión antrópica en la zona ha generado transformación del paisaje, particularmente los bosques han evidenciado un proceso de fragmentación, lo que se refleja en la pérdida de masa forestal y biodiversidad, que afecta indudablemente la estabilidad de las áreas protegidas (Stiles y Bohórquez, 2005) y (Navajas, 2016).

Algunos municipios del norte del Departamento de Boyacá tuvieron un marcado referente en los conflictos por la minería, los cultivos ilícitos y grupos armados en la zona. Esto conllevó tristemente a un periodo de inestabilidad social y económica para la región. La década de 1980 marca igualmente la consolidación del fenómeno del narcotráfico en Colombia. El territorio del Magdalena Medio y el Norte de Boyacá configuran escenarios de conflictos donde la confrontación se establece no solo en la

dicotomía guerrilla/paramilitarismo, sino carteles que querían controlar el negocio del narcotráfico. (Villamizar, 2017).

La década de 1990 evidencia una expansión del fenómeno guerrillero y así mismo un crecimiento del narcotráfico en diversas zonas del país. Para la región del Magdalena Medio y particularmente para la zona que ocupa el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas, fue el escenario para la proliferación de diversos actores ilegales que hicieron presencia en municipios como: Muzo, Pauna, Quípama, Otanche y San Pablo de Borbur, entre otros municipios, en los cuales se desarrollaron verdaderas guerras entre familias dedicadas a la explotación de las esmeraldas (El Tiempo, enero 21 de 2005).

## Métodos

Para determinar la conectividad estructural de la Serranía de las Quinchas es imprescindible tener una superficie de costo o fricción que identifique las zonas donde la conectividad y dinámica de flujos sea o no favorecida, a través del paisaje con la integración de todos los sistemas (Balbi et al., 2019), superficie generada a partiendo de la ponderación del modelo de resistencia, resultante de diferentes elementos del paisaje que incluye variables significativas en los estudios de conectividad que inciden en el modelo de resistencia, (Clavenger et al., 2002), se tomó en consideración la pendiente, la distancia a ríos y vías (Zeller et al., 2012) y (Spear, et al., 2010) y que componen el criterio físico; el criterio socioeconómico con las variables distancia a asentamientos urbanos, densidad y tamaño predial y el criterio biótico que contempla las variables de coberturas determinadas con la metodología Corine Land Cover que utiliza categorías de datos a nivel nacional, departamental, municipal o para áreas específicas, utilizada principalmente en trabajos con sensores remotos para generar cartografía a diferentes escalas como 1:25.000 definida por los objetivos del trabajo (Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2017) y las distancia a áreas naturales factores que afectarían positiva o negativamente la conectividad estructural. (McRae et al., 2008).

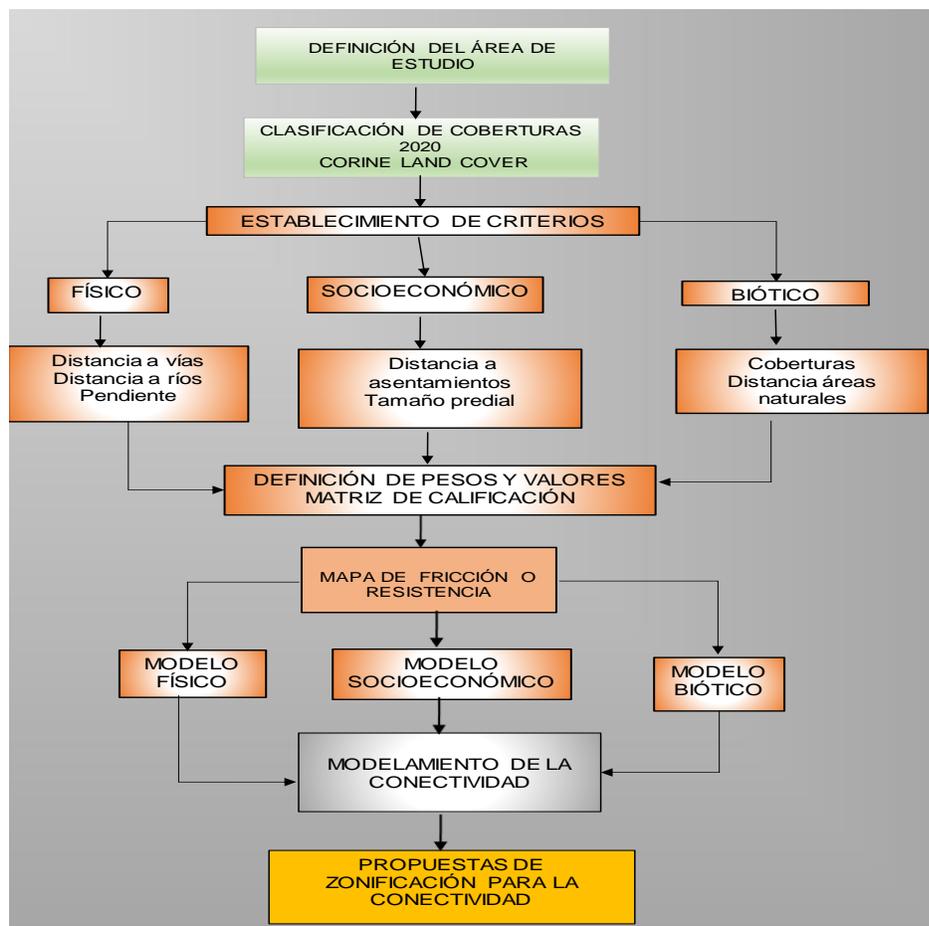
Posteriormente se generó el modelo de conectividad (Isaacs et al., 2017) y zonificación para acciones de preservación, conservación, restauración y actividades sostenibles que mejoren las condiciones de conectividad en la Serranía de las Quinchas. Figura 2.

El proceso cartográfico aplicado a las ocho variables seleccionadas para determinar la conectividad estructural de la Serranía de las Quinchas se relaciona enseguida.

En el criterio físico utilizaron las variables de vías, ríos y pendientes, que fueron tomados de la cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- a escala 1:100.000, se llevó a cabo el estudio de operaciones de distancia euclidiana con la herramienta de Arc Gis V.10.5, el ráster de pendiente se obtuvo con la herramienta “Slope”, de “3D analyst tools” de ARCGIS V.10.5., considerando que zonas de altas pendientes ofrecen mayor resistencia a la conectividad.

El papel negativo de las vías para los proyectos de conservación, por representar un obstáculo para el desplazamiento de las especies y adicionalmente frecuentes atropellamientos de fauna ocurridos en ellas (Baskaran y Boominathan, 2010) y (Van der Ree et al., 2015) y la generación de ruido y vibraciones que entorpecen la vida de las personas, promueven la erosión, crean barreras, aíslan los paisajes y contribuyen a la contaminación del agua (Beier et al., 2008); por lo anterior, entre menos distancia mayor índice de fricción o resistencia.

**Figura 2**  
Diagrama metodológico.



Fuente: Elaboración propia

Cartográficamente esta variable se realizó por medio de un mapa de distancia a vías, según Beier et al. (2008), esta variable basada en distancia a las vías más próximas es mejor por cuanto previene dificultades relacionadas con el tamaño del píxel y biológicamente son más propicios.

Los principales ríos muestran un elevado nivel de prioridad representada en un buen estado de conservación y por eso el mayor valor de fricción a mayor distancia (Jongman et al., 2004); el ráster de distancia a ríos se clasifico con valores más bajos de resistencia a los sitios más cercanos y más altos a sitios alejados.

La mayor pendiente es directamente proporcional a la resistencia y fricción del paisaje, mientras las de baja pendiente brindan mejores condiciones de conectividad (Moreno y Rusinque, 2022). Normalmente las áreas de difícil acceso para actividades antrópicas, por sus características físicas o climáticas, tienden a conservar más los ecosistemas naturales en el tiempo que las zonas planas. (Primack, 2012).

En el criterio socioeconómico se contemplaron las variables de asentamientos urbanos, tomadas del mapa de coberturas elaborado a partir una imagen satelital Landsat 2020, para los predios se

extrajeron sus centroides con el valor de área en hectáreas asociado y con base en este se realizó una interpolación Spline herramienta de geoprocésamiento de ArcGIS, con la cual se generó una superficie continua.

Para el análisis del tamaño predial, se parte de la premisa que a mayor tamaño hay menor actividad productiva y áreas con mejor estado de conservación y por tanto ofrecen menor resistencia que predios de menor tamaño, que han sufrido una mayor intervención, por lo mismo sus ecosistemas se encuentran degradados y presentan alta resistencia para la movilidad de las especies. (Cárdenas, 2015).

La densidad predial considera que, a menor concentración de predios en un área determinada, mejores condiciones y hábitat para la movilidad de las especies, por cuanto se genera menos intervención antrópica y afectación ecosistémica, la distancia a asentamientos humanos, entendiendo que a una mayor distancia de las áreas pobladas que se encuentran en desarrollo, habrá una dificultad menor del desplazamiento de especies. (Martínez, 2019).

Para el criterio biótico se emplearon las variables de cobertura que se realizó con la metodología de Corine Land Cover (IDEAM, 2012), usando imagen satelital de 2020, la capa de cobertura se llevó a formato ráster, el tamaño de pixel definido para los análisis fue de 15 metros, con una resolución cercana a la escala 1:25.000 y las áreas naturales se tomaron de (Vásquez et al., 2009).

El bosque denso alto de tierra firme -Bdatf-, bosque fragmentado -Bf-, bosque de galería -Bg- y vegetación secundaria alta -Vsa-son las coberturas más favorables para la conectividad de los diferentes parches boscosos. Las áreas de pastos arbolados -Par-, mosaico de cultivos con espacios naturales -Mcen- adquirieron un valor mediano-bajo de resistencia. Las zonas caracterizadas por presentar pastos limpios -Pl-, pastos enmalezados -Pen- y áreas degradadas -Adg- adquirieron un valor alto de fricción. Posterior a esta clasificación vectorial, el shapefile se llevó a formato ráster considerando el campo “Valor” de la tabla de atributos de la capa de coberturas. Al tamaño de pixel se le dio un valor de 10 m. (Martínez, 2019), y se incluyeron las áreas que tienen alguna figura legal de conservación, protección o manejo especial, por cuanto preservan alguna parte del sistema natural (Montoya, 2018). En cuanto a la distancia a áreas protegidas Toro (2020) dice: “Entre más cerca se encuentre de los bosques actuales hay una mayor probabilidad de conectividad”.

El resultado es una capa ráster que refleja el costo energético, dificultad, o riesgo de moverse de una especie a través de cada pixel. Estos valores se determinan de acuerdo a las características de cada pixel, tales como la cobertura del suelo, la densidad de población y la cercanía a drenajes y vías, en este caso, no se trabajó con alguna especie en particular, sino que se realizó con el grupo de criterios y variables que favorecen la conectividad estructural. (McRae et al., 2008).

Estos ráster se reclasificaron posteriormente con valores de 1 a 3, donde 1 indica los pixeles con la más baja resistencia del territorio y 3 los valores más altos para impedir la conectividad. (Martínez, 2019). Tabla 1.

El proceso cartográfico de los nodos que requieren ser conectados para este trabajo de conectividad estructural, consistió en núcleos de bosque con extensión mayor a 1 kilómetro cuadrado, valor basado en el rango de hogar de especies destacadas en la Serranía de las Quinchas, como los felinos *Felis pardalis*, *Puma concolor* (Harmsen et al., 2011) y *Crax alberti*, (Melo et al., 2008) que frecuentemente registran densidades poblacionales de 0,5 a 5 individuos por kilómetro cuadrado,

(Quevedo et al., 2008) constituyéndose en indicadores aceptables del tamaño que deberían tener los bosques para albergar animales grandes (Negrões et al., 2010).

**Tabla 1.**

Variabes utilizadas para establecer la fricción

criterio	Variable	Rangos de la variable	Valor	Justificación		
FISICO	Distancia a vías	Distancia a vías entre 0 y 1500 m	1	Las carreteras restringen el movimiento de especies. Cuanto más lejos esté de la vía, menos difícil será moverse. (Beier et al., 2008)		
		Distancia a vías entre 1500 y 2800 m	2			
		Distancia a vías mayor a 2800 m	3			
	Distancia a Ríos	Distancia a rondas entre 0 y 180 m	1		El curso de agua tiene implicaciones positivas para la migración de especies. Cuanto menor sea la distancia desde el cauce, menor será la fricción. (Colorado et al., 2017)	
		Distancia a rondas entre 180 y 300 m	2			
		Distancia a rondas mayor a 300 m.	3			
	Pendiente	Pendiente entre 0 y 19,1 grados	1			Las áreas de alta pendiente son de difícil acceso para el ser humano, por esta característica los ecosistemas naturales se conservan en mejor estado que en las zonas planas. (Primack, 2012)
		Pendiente entre 19,2 y 26,11 grados	2			
		Pendiente > 26,12 grados	3			
SOCIOECONOMICO	Asentamientos urbanos	Distancia a suelo suburbano entre 0 y 3878 m,	1	A mayor distancia de las áreas pobladas, se obtendrá una dificultad menor para el desplazamiento de especies		
		Distancia a suelo suburbano entre 3878 y 5760 m.	2			
		Distancia a suelo suburbano mayor a 5760 m	3			
	Tamaño predial (Has)	0 y 126	1		Priorización de predios relativamente grandes en poder de un solo dueño que serán más fáciles de operar y administrar. (Theobald, et al., 2006)	
		126 y 1130	2			
		>1130	3			
	Densidad predial	0 a 10	1			Agrupamiento de inmuebles genera mayor intervención antrópica, degradando las condiciones del
		10 a 20	2			

		> 20	3	área para la movilidad y supervivencia de las especies.
	Bosque denso alto de tierra firme -Bdatf-, bosque de galería -Bg-	Cobertura Natural	1	
	Bosque fragmentado -Bf-, vegetación secundaria -Vsa-	Cobertura Seminatural	2	
BIOTICO	Territorios artificializados - Tar-. Cuerpos de agua artificiales -Caa-. Cultivos transitorios -Ct-. Áreas de explotación de materiales - Aem-. Mosaico de pastos y espacios naturales - Mpen-. Áreas degradadas -Adg-. Pastos arbolados - Par- Pastos limpios -Pl-. Pastos enmalezados -Pen- y el Mosaico de pastos y cultivos -Mpc-	Coberturas transformadas	3	Hábitats boscosos y estados sucesionales avanzados presentan menor dificultad al desplazamiento y movilidad de las especies.
		0 a 61 m	1	A menor distancia, la fricción o resistencia a la movilidad de las especies es baja.
	Distancia a áreas naturales	61 a 173 m	2	
		> 173 m	3	

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los núcleos de los nodos se obtuvieron a partir del método de fragmentación morfológica del software Guidos (Vogt y Riitters, 2017). Este análisis permite hacer una clasificación morfológica de un ráster binario, en donde los valores asignados al número uno (1) representan el primer plano, es decir lo clasificados como bosques y áreas naturales; mientras que los ceros (0) representan el fondo, que son aquellos sitios transformados por actividades antrópicas; es decir, áreas que no corresponden a un hábitat natural. (Martínez, 2109).

El modelo de fricción se trabajó con algebra de mapas para cada una de las ocho variables definidas, una matriz de costo es un ráster conformada por un conjunto de píxeles con determinado valor numérico que representa el costo energético que implica recorrer la zona, es decir, valores bajos representan costos bajos para el desplazamiento, estas matrices permiten medir los recorridos (de píxel a píxel) de menor coste a lo largo de una red desde varios orígenes a varios destinos, por ejemplo, entre las diferentes áreas protegidas (GEASIG - Especialistas en SIG y Medio Ambiente, 2019).

Se construyeron los ocho modelos de resistencia para cada una de las variables con la herramienta Weighted Overlay de ArcGIS y posteriormente se integraron para generar el modelo de resistencia cada criterio establecido, finalmente se realizó una capa de fricción global que integro los tres criterios, esta capa fue el insumo para el cálculo de conectividad que identifico un uso mayor desde el ámbito espacial basados en una grilla resistiva, que representa la dificultad, el costo de energía o el riesgo de mortalidad asociado con el movimiento de organismos entre los hábitats que componen el paisaje a través de la grilla (Keitt, 2000). Los niveles de fricción se valoraron con base en la siguiente clasificación: nula o baja (valoración de 1), intermedia (valoración de 2) y alta (valoración de 3).

(Colorado et al., 2017).

Otro procedimiento consistió en re-escalar los valores de cada una de las variables consideradas (Tabla 1) con base en la ecuación 1 (Qadir, 2022), mediante la cual se obtienen valores de 1 a 10.

$$\text{Ecuación 1 } x.\text{escalada} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} * 10$$

Donde  $x$  escalada es igual al valor final de la variable  $x$ ,  $\min(x)$  y  $\max(x)$  son el mínimo y el mayor valor de la variable  $x$ .

En el caso de la cobertura de la tierra que es una variable cualitativa, en la cual no es posible la aplicación de la ecuación propuesta, se realizó una reclasificación de acuerdo al nivel de naturalidad en tres tipos:

1. Cobertura Natural: Todos los recubrimientos sin intervención humana aparente a escala 1: 25,000, como el Bdatf, Bg que en el área ocupan el 65% del área de estudio.
2. Coberturas seminaturales: son coberturas que muestran las diferentes intervenciones humanas que se encuentran en estado de recuperación natural intermedio, como lo representa la Vsa, el Bfr con un porcentaje de ocupación del 10.3%.
3. Coberturas Transformadas: son las coberturas que tienen un origen alterado por las diferentes actividades de origen antrópico como Ct, Mpen, Par, Pl, Mpc y Pen. (Posada, 2019) y que en el área de estudio ocupan el 24.7%.

Cada tipo de naturalidad se reclasifico en valores de fricción de 1 a 3 donde 1 son las zonas con menor fricción y por consiguiente en mejor estado de conservación, 2 corresponde a zonas con coberturas seminaturales o un grado de intervención menor y 3 coberturas transformadas con alta intervención antrópica que generan altos valores de fricción. Posteriormente se efectuó una suma lineal de 0 a 100 con todas las variables, para al final obtener la capa de la resistencia que el paisaje impone al movimiento de las especies.

Para establecer la conectividad en Serranía de las Quinchas se empleó el método propuesto por (McRae y Kavanagh, 2011), con el uso de Linkage Mapper Toolkit, de ArcGIS específicamente la herramienta “Build Network and Map Linkages”, que maneja dos referencias: un archivo de tipo vectorial que representa los nodos, y un ráster que representa la matriz de resistencia o fricción. Los nodos escogidos fueron los centroides de áreas núcleo de bosques mayores a 1 kilómetro cuadrado. Posteriormente, el algoritmo identifico las distancias de menor costo, pixel a pixel, entre un nodo y otro, este costo se basó en distancia euclidiana y fricción.

El software produjo archivos ráster con valores mínimos, intermedios y máximos; los valores mínimos significan menor costo; es decir, menor resistencia o fricción y más aptitud para la conectividad. En contraste, los valores máximos representan zonas donde el costo de desplazamiento es mayor.

Con el ánimo de sintetizar la información generada, de resistencia como de conectividad, los dos resultados se reclasificaron en deciles, y estos a su vez en clases textuales (Muy alta, Alta, Media, Baja

y Muy baja). Tabla 2.

Para determinar las unidades de zonificación en la Serranía de las Quinchas, se realizó la multiplicación del valor de conectividad obtenida con el valor de cada cobertura reclasificada según su nivel de naturalidad y clasificación en su respectivo rango según el valor obtenido, que se incluye entre las variables consideradas en diferentes trabajos para determinar la zonificación (Aldana y Bosque, 2008), Tabla 2.

**Tabla 2.**  
 Valores de conectividad y categorías de zonificación

<b>Conectividad</b>	<b>Valor</b>	<b>Clasificación cobertura</b>	<b>Valor</b>	<b>Rango</b>	<b>Categorías de zonificación</b>
Muy Alta	1	Natural	1	1 a 2	Preservación, Protección,
Alta	2	Seminatural	2	3 a 6	
Media	3	Transformada	3	7 a 10	Protección, Restauración
Baja	4			>10	Actividades sostenibles, sistemas silvopastoriles, sistemas agroforestales.
Muy Baja	5				

*Fuente:* Elaboración propia

La zonificación posibilita identificar y describir territorios diversos, en las cuales son homogéneas las respuestas y capacidades de suministrar, de forma sostenible, recursos a los sistemas antrópicos y soportar los impactos frente a las actividades antrópicas. (Ontivero, 2008).

La Zonificación Ambiental es la herramienta que establece la ordenación de las áreas protegidas, con el fin de establecer los diferentes tipos e intensidad de ocupación y uso de la tierra y recursos naturales, mediante la definición de un conjunto de zonas homogéneas con el respectivo soporte jurídico y normativo. (Lima et al., 2010), para lograr una administración efectiva de los bienes ambientales, la zonificación se convierte en un instrumento importante (Sabatini et al., 2007) y, además, permite reducir posibles conflictos entre usos y usuarios.

## Resultados

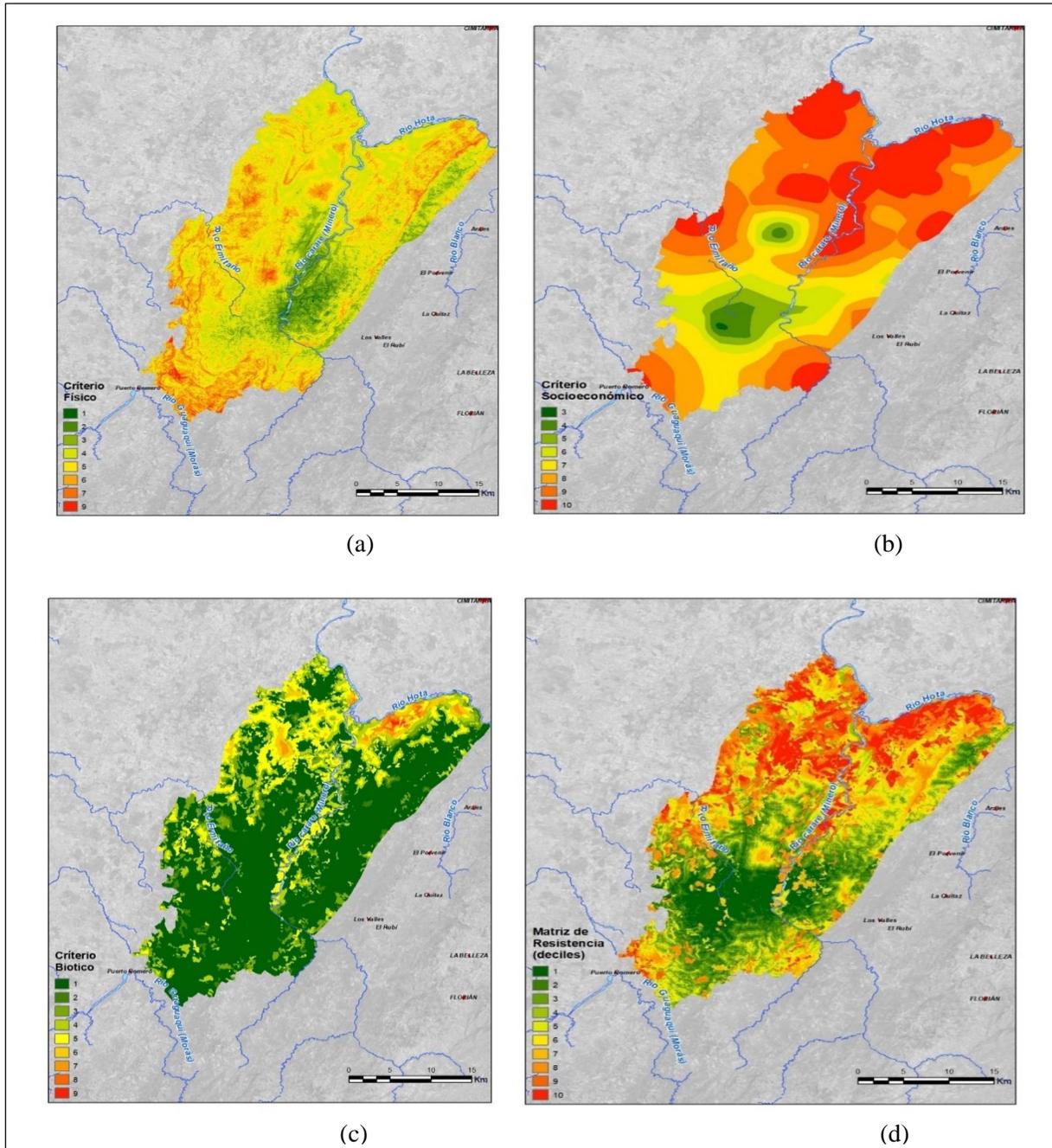
Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente orden, en primer lugar el modelo de resistencia de cada uno de los criterios físico, socioeconómico y biótico, mostrando que variables aumentan o disminuyen la fricción en la Serranía de las Quinchas, en segunda instancia la obtención del modelo o matriz de fricción mediante la integración de los tres modelos de resistencia anteriores y proseguir con la generación del modelo de conectividad para definir la zonificación, con base en la reclasificación de las coberturas y valores de conectividad y obtenidos.

El modelo de resistencia del criterio físico, presentado en la Figura 3 (a), destaca zonas en color rojo, que representan aproximadamente el 16% del área de estudio, zonas que ofrecen alta resistencia a la movilidad de las especies, esto principalmente debido a las variables de pendiente y vías que registraron altos valores de resistencia, áreas en color amarillo significan zonas con fricción y resistencia media en una extensión del 69 % y con una extensión del 15% se encuentran las áreas con fricción o resistencia baja, es decir, mejores condiciones de conectividad.

La distancia a ríos es una variable positiva para la conectividad, significando que a menor distancia a rondas hídricas menor resistencia (Colorado et al., 2017), se relaciona que el 60% de las distancias a drenajes se ubican a menos de 300 metros destacando los ríos Minero y Ermitaño y el 20% se ubica entre 488 y 2262m, siendo estas las mayores distancias registradas, es decir, ofrecen mayor resistencia y fricción para la conectividad. Con respecto a la distancia a vías, por sus efectos de fragmentación y la limitante que significan a mayor distancia a vías, menor dificultad en el desplazamiento de las especies (Colorado et al., 2017), el 20% de las vías se encuentra por debajo de los 672 metros, generando la mayor resistencia a la conectividad, el 20% de las vías se encuentran entre los 5104 y 10129 metros, ofreciendo la menor resistencia a la conectividad; para la pendiente se presentan zonas con altos valores de fricción en rojo que dificultan la conectividad, con un registro del 20% de la zona con pendiente superior al 26% y en verde áreas con menor resistencia o fricción con pendiente por debajo del 19,2% en un 60% de la zona.

La Figura 3 (b) relaciona la integración de las variables utilizadas en el criterio socioeconómico, para determinar la fricción: distancia a asentamientos urbanos, destacando al norte del área de estudio el color rojo, con distancias cortas (menores a 3788 m) a las zonas suburbanas con el 40%, es decir, condiciones difíciles para la movilidad de las especies. El 40% de las áreas pobladas se ubican a una distancia superior a los 5700 m de distancia, lo que representa menor dificultad para el desplazamiento. La densidad de predios presenta una concentración en zonas muy localizadas, generando condiciones de alta fricción, el tamaño predial registró que el 40% de los predios tienen extensiones menores de 125 Has considerando que estos predios de menor tamaño ofrecen mayor resistencia y por consiguiente no favorecen las condiciones de movilidad para las especies, cuanto más exista un espacio territorial amplio en cada lote, será de menor dificultad el desplazamiento y se facilitara el desarrollo oportuno de aquellas estrategias de conservación (Isaacs et al., 2017), solo el 20% de los predios registra superficies superiores a 3.452 Has son los de mayor extensión y por consiguiente ofrecen mejores condiciones para la movilidad de las especies, situación que ilustra con el color rojo.

**Figura 3**  
*Modelos de resistencia de los criterios y matriz de resistencia*



*Nota:* Criterio físico (Variables pendiente, distancia a vías y ríos). (b). Modelo resistencia criterio socioeconómico. (Variables distancia asentamientos urbanos, tamaño y densidad predial). (c). Modelo resistencia criterio biótico. (Variables distancia a áreas naturales y coberturas de la tierra). (d) El modelo de resistencia para la Serranía de las Quinchas obtenido a partir de la integración de los tres modelos de resistencia. Escala (1:25.000). En tonos de rojo los valores con mayor resistencia y fricción correspondientes a sitios cercanos a asentamientos urbanos, baja pendiente, pastos, pasando por tonos naranja y amarillo hasta llegar a los tonos verde que indican las zonas con menor resistencia y fricción de la Serranía de las Quinchas que son zonas boscosas, cercanas a ríos.

*Fuente:* Elaboración propia

En el criterio biótico se relacionan las variables de distancia a áreas naturales de las zonas protegidas, lo que indica que el 40% se ubica por debajo de los 61,3 metros, presentado baja fricción, el 20% presenta distancias superiores a 439 metros con alta fricción para la movilidad de las especies. Se definieron 19 tipos de cobertura, mostrados en la Figura 3 (c) siendo el Bdatf la cobertura de mayor extensión con el 61,9%, que con el Bg son coberturas que registran la menor resistencia o fricción al desplazamiento de las especies, estas coberturas se localizan en los Parques Naturales Regionales de las Quinchas, ubicados en los departamentos de Boyacá y Santander, Reserva Forestal Protectora Nacional del Río Minero y en el Distrito Regional de Manejo Integrado de los Recursos Naturales del Río Minero -DMI Minero-; la segunda cobertura de mayor extensión es el -Mpen-, que corresponde al 8,06%, es una zona con alta fricción y resistencia. Las coberturas de Bfr, Vsa, ofrecen una fricción media a la movilidad de las especies; los Pl presentan ocupaciones entre el 6,4% y 4,7%; los Pen y el Mpc con porcentajes del 3,9% cada una, las restantes coberturas presentan porcentajes por debajo del 1,78%, destacando los Par, registrando valores de alta resistencia y fricción.

El modelo del criterio biótico representa en color verde las áreas con menor resistencia, lo cual se debe a la mayoritaria presencia de áreas naturales como el Bdatf, Bg y lagunas con un porcentaje de ocupación del 63,36%. Figura 3 (c).

Resultado de la combinación de los criterios biótico, físico y socioeconómico se generó el modelo de resistencia, las zonas en rojo representan mayor valor de fricción, corresponden a las áreas donde se ubican los asentamientos urbanos, vías, coberturas transformadas y en verde las áreas más conservadas con coberturas boscosas como el Bdatf y Bg en buen estado de conservación que facilitan el desplazamiento o movilidad de las especies. Figura 3 (d).

El modelo de conectividad de la Figura 4 (a) y los resultados de la Tabla 3, presentan las áreas de conectividad Muy Alta con una extensión de 20694,9 Has ubicadas principalmente en el Bdatf en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas en Santander y Boyacá y La Reserva Forestal Protectora Nacional Cuchilla del Minero. La categoría de conectividad alta en una superficie de 21760,9 Has, con 20596,6 Has se registra la categoría de conectividad media principalmente en la cobertura de Bdatf, en la categoría de conectividad baja con una extensión de 21063,4 Has se destacan las coberturas de Vsa y Bfr, con tamaños de parches que oscilan entre 3500 y 6400 Has y finalmente para conectividad muy baja que ocupa 20064,5 Has con valores de mayor resistencia en rojo, muestran aquellas zonas en donde se deben implementar estrategias de recuperación.

El 92,92% del área de estudio se incluye en alguna forma de protección, no obstante que el área sin protección es un valor bajo en relación con el área de estudio, este resultado permiten valorar si los instrumentos de planificación y gestión de estas áreas de protección están cumpliendo con la conservación y sostenibilidad de los ecosistemas, suponiendo que el 7,08% aumente a futuro, es un momento importante para replantear las actividades desarrolladas procurando no alterar la conectividad de las áreas protegidas. (Arboleda y Moyano, 2013). De la Tabla 3 y Figura 4(a) y 4(b) se deduce que el Parque Natural Regional de las Quinchas en Santander y Boyacá presenta los valores más altos de área en las categorías de Conectividad Muy alta, Alta y Media mientras la Reserva Natural de la Sociedad Civil presenta el valor más alto en Conectividad baja y el porcentaje de área de mayor extensión en la Conectividad muy baja lo presenta el Distrito Regional de Manejo Integrado del Río Minero con el 26,86%.

**Tabla 3**  
*Conectividad en áreas protegidas*

NIVEL CONECTIVIDAD	AREA DE ESTUDIO (% Área)	DRMI RIO MINERO (% Área)	PNR QUINCHAS SANTANDER (% Área)	PNR QUINCHAS BOYACÁ (% Área)	RFP MINERO (% Área)	RNSC Paujil (% Área)
Muy Alta	19.9	11.91	26.69	18.3	49.56	0.17
Alta	20.9	16.81	27.81	22.19	30.27	5.49
Media	19.8	18.56	23.58	26	11.12	20.58
Baja	20.2	25.85	14.37	19.77	6.89	60.19
Muy Baja	19.2	26.86	7.55	13.74	2.15	13.58
Total	100	100	100	100	100	100

*Fuente:* Elaboración propia

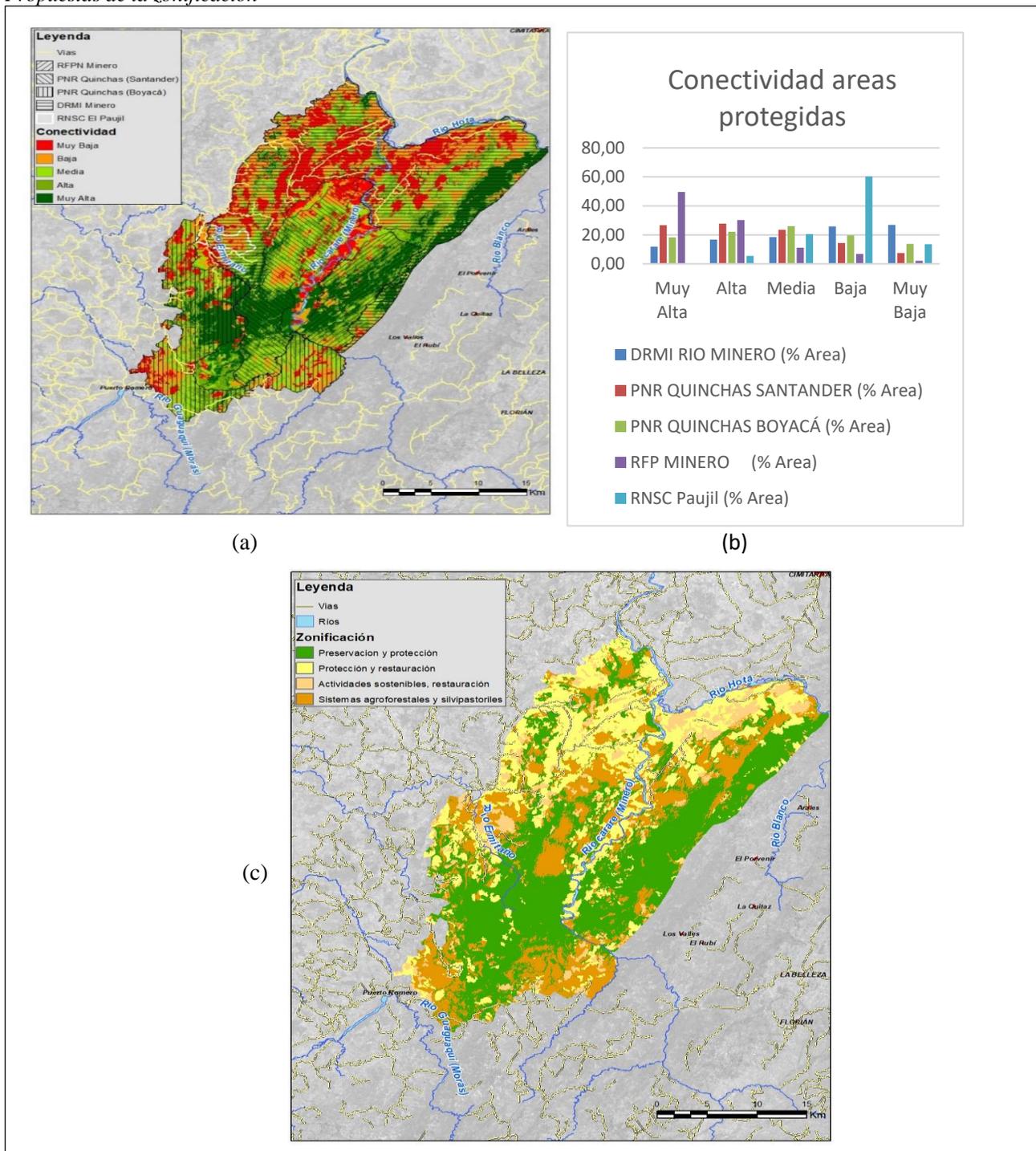
La conectividad muy alta y alta se registró en áreas que constituyen caminos de bajo costo y representan espacios para las especies, cuyo hábitat está amarrado con parches boscosos, es evidente una baja conectividad transversal, bien por la presencia de vías e infraestructura que afecta la continuidad de los bosques boscosos o por coberturas altamente intervenida por actividades antrópicas que afectan el desplazamiento de las especies, como es el caso de los pastos limpios y cultivos.

Las zonas de conectividad media que ocupan el 19,8% , destaca un parche de 17046,2 Has de Bfr y otro de Vsa de 3565,19 Has, son áreas para la recuperación de condiciones que propician la continuidad de los procesos naturales, son territorios donde los recursos naturales han sido intervenidos o modificados y que serán objeto de acciones de recuperación y rehabilitación (Magdalena et al., 2011), para la zona de conectividad baja y muy baja, se obtuvo una extensión de 41127,9 Has que comprende las coberturas de Pl, Mcen, Mpc, Par y Ct.

La conectividad baja y muy baja dificultan el desplazamiento de las especies, como consecuencia de prácticas inadecuadas de uso del suelo, las actividades productivas y personas enfocadas en propiciar mejores condiciones para la ganadería, conllevando a deforestación y en consecuencia no hay relación de las actividades productivas con las dinámicas y procesos del ecosistema, como la conservación de la fertilidad de los suelos, oferta hídrica, degradación de la oferta natural, que reduce los servicios ecosistémicos de los bosques.

En la Figura 4 (c), se relacionan las propuestas de la zonificación, para implementar líneas de conservación, preservación, restauración y uso sostenible (Isaacs et al., 2017), la preservación y protección en el 40,2% corresponde al Bdatf y Bg estos bosques son importantes, por cuanto enriquecen la matriz del paisaje, favoreciendo el mantenimiento a largo plazo de la fauna, permitiendo el movimiento de las especies. En estos lugares se pueden encontrar recursos valiosos para las especies como agua, alimento y lugares de descanso (Schwartz et al., 2000) como las más representativas, con el objetivo de recuperar la productividad y servicios ecosistémicos relacionados con las características funcionales o estructurales y restauración de la biodiversidad regional (Cairns, 1987), se plantean actividades agrícolas de baja intensidad y con buenas prácticas, orientadas a la sustentabilidad, en estas áreas se propone implementar actividades agroforestales y silvopastoriles, lo cual ayudaría a evitar la degradación de los ecosistemas; en la Tabla 3 se relacionan las áreas para cada unidad de zonificación propuesta.

**Figura 4**  
Propuestas de la zonificación



Nota: La Figura 4 (a), en rojo relaciona las zonas con menor valor de conectividad, pasando por tonos naranja y amarillo a tonos verde, zonas en mejor estado de conservación y mayor valor de conectividad, en la Figura 4 (b) se verifica que la RFP del Río Minero registra la mayor área en conectividad muy alta y alta, mientras la RNSC El Paujil registro los valores más altos en conectividad baja. La propuesta de zonificación presentada en la figura 4 (c) se proponen las estrategias de Preservación y protección (verde), Protección y restauración en color café, las actividades sostenibles y restauración en rosa y la restauración y sistemas agroforestales y silvopastoriles (Amarillo) acciones para mejorar la conectividad y recuperación ecosistémica en la Serranía de las Quinchas. Escala (1:25.000).

Fuente: Elaboración propia.

## Discusión

Los modelos de fricción se construyeron de acuerdo a diversas perspectivas como las mallas de menor costo (Beier et al., 2008), las cuales no representan solamente corredores como líneas de paisaje, además registran zonas con potencial de conservación y oportunidades para la preservación, protección y usos sostenibles, generando acciones potenciales para mejorar la conectividad. (McRae et al, 2008) sin desconocer la importancia existente en otras áreas que sirven de complemento de conservación y restauración de zonas (Beier et al., 2008).

Con los criterios físico, socioeconómico y biótico y sus respectivas variables, se desarrolló el modelo metodológico para identificar áreas de mayor o menor resistencia y conectividad, como sustento para la formulación de estrategias de preservación, protección, restauración, recuperación y usos sostenibles que mejoren las condiciones de conectividad de los parches boscosos de la Serranía de las Quinchas.

El modelo físico está fuertemente influenciado por la pendiente por cuanto la Serranía de las Quinchas, presenta un predominio montañoso, caracterizado por fuertes pendientes y una topografía abrupta, esto es concordante con lo reportado por (Martínez, 2019), que registro regiones boscosas en zonas escarpados o alta pendiente, en donde el acceso a la tierra es difícil por las condiciones de terreno, se registran también tierras de baja pendiente y levemente onduladas solamente en cercanías de Betania en la vereda El Carmen, la distancia a vías se constituye en un factor limitante para el desplazamiento de las especies, que genera fragmentación y afectación de hábitats, resultado concordante con (Martínez, 2019). Además, se identifica en el modelo que los cuerpos de agua que merecen mayor importancia en la conservación al prestar servicios ecosistémicos prioritarios para la conectividad. (Phillips y Navarrete 2009) y (Remolina 2010).

Se registró la presencia vías que afectan la continuidad de coberturas, por lo que se debe evitar planear zonas de conservación, por las vibraciones, accesibilidad de autos, personas y riesgo de atropellamiento de la fauna (Negroes et al., 2004). Los ríos Minero Ermitaño, La Cristalina favorecen la conectividad, es un patrón descrito en trabajos de conectividad, (Wiens, 2002) donde las corrientes hídricas propician la dispersión de la vegetación y consecuentemente, la conectividad entre parches boscosos. Se verifico en el presente estudio que características del terreno como la pendiente asociada a ríos registraron valores de pixel más adecuados para la conectividad. De igual forma la distancia a los cuerpos de agua es un factor de importancia para la presencia de una gran variedad de especies (Fremier et al., 2015); por lo anterior es factible que tanto variables bióticas y abióticas favorezcan la conectividad entre parches de bosque en el paisaje.

En el modelo socioeconómico enfocado en asentamientos humanos, densidad y tamaño predial, se destaca que los predios con mayor área tienen menor actividad productiva y áreas en mejor estado de conservación, los predios con valores medios de tamaño corresponden a las zonas que se pueden dedicar al uso sostenible, esto es similar a lo reportado (Cárdenas, 2015), zonas con predios de menor área han sido sometidas a una mayor intervención, por lo mismo sus ecosistemas se encuentran degradados y por esto se requieren actividades para el uso sostenible y restauración a mayor extensión de los predios, disminuye la resistencia para la movilidad de las especies y se facilita la implementación de actividades de conservación (Colorado et al., 2017) y según (Martínez, 2019) la distancia a asentamientos urbanos y vías influye en forma directa en la fricción del paisaje a la posibilidad de conectar diferentes zonas boscosas como se registró en la Serranía de las Quinchas.

El modelo biótico, muestra principalmente las zonas con Bdatf y Bg que presentan la menor resistencia a la movilidad de las especies, debido a las áreas boscosas de mayor extensión y con valores intermedios se presentaron zonas de Bfr y Vsa, con áreas intervenidas que hacen una transición hacia bosques densos.

Coberturas transformadas como pastos, monocultivos y cultivos permanentes registraron alta resistencia por la presencia de cultivos, pastos, asentamientos urbanos, resultado que concuerda con Arboleda y Moyano (2013), las coberturas transformadas por actividades antrópicas presentan los intervalos más restrictivos para el movimiento de las especies.

Las áreas con baja y muy baja conectividad son áreas donde la vegetación natural ha desaparecido, producto del establecimiento de asentamientos urbanos, actividades antrópicas como ganadería, cultivos, minería lo cual altera las condiciones naturales y afecta negativamente los servicios ecosistémicos.

La zonificación en la Serranía de las Quinchas se plantea con el objetivo de mejorar la conectividad entre las áreas (Sguerra et al., 2011) y (Remolina, 2010), se busca una aproximación para lograr identificar la conectividad entre las coberturas que presenta la zona, abordando criterios ecológicos mediante el conocimiento de términos de movimientos y dinámicas locales, que logren cuantificar la representación de cada acción de conservación hablando netamente de preservación, protección, restauración y usos sostenibles (Remolina, 2010).

La zonificación permite identificar y describir diferentes áreas, en las cuales son homogéneas las respuestas y capacidades de suministrar, de forma sostenible, recursos a los sistemas humanos y soportar los impactos frente a las actividades humanas. Con la zonificación, se asegura el propósito de protección efectiva de áreas naturales acordes a su importancia natural, adaptación de usos y actividades según capacidad de carga (Ontivero, 2008).

Para lograr una administración efectiva de los recursos naturales, la zonificación, además, permite disminuir posibles conflictos entre usos y comunidad. De otro lado, es adecuada para asegurar que la sostenibilidad de las actividades antrópicas no degrade el valor ecológico de cada una de las áreas zonificadas (Ontivero, 2008).

## Conclusiones

Los ríos de gran importancia en la Serranía de las Quinchas se deben entender como un componente del paisaje que aumenta la conectividad entre parches, bien longitudinalmente, por los patrones de inundación de la corriente hídrica o por la distancia que hay desde un punto en la zona al río más próximo (Wiens, 2002).

Los parches de Bdatf y Bg registraron los más altos grados de conectividad, por cuanto estas coberturas enriquecen la matriz del paisaje, considerándolo como áreas núcleo para la conectividad y por consiguiente para la preservación y conservación de fauna y flora favoreciendo el desplazamiento de las especies. Por esto la importancia de formular políticas de gestión que favorezca la preservación y protección, son los de mayor área y mejor conectados entre sí.

Al tener como referencia los modelos de fricción de cada uno de los tres criterios por separado, posiblemente el resultado de la conectividad de las áreas protegidas cambie, no obstante que el

enfoco que no está orientado por cada criterio, sino por el conjunto de estos sistemas que permite evaluar la consideración de algunas variables con altos costos, al estudiar desde la ecología del paisaje se compensan unas con otras generando que el paisaje de la Serranía de las Quinchas favorece la movilidad, se comprende que por el alto porcentaje de áreas protegidas va más allá de la conservación propia de cada área protegida, incluyendo el área que las circunda e incluso de aquellas áreas protegidas que favorecen la conectividad del grupo de áreas protegidas regionales. (Arboleda y Moyano, 2013).

La propuesta de zonificación de la Serranía de las Quinchas, parte de una visión holística del manejo de áreas protegidas que está acorde, con Montoya (2018), que afirma que en zonificación ambiental no hay metodología única, es una propuesta técnica basada en criterios físicos, socioeconómicos y bióticos, objeto y susceptible a recomendaciones, mejoras y observaciones por entidades públicas y privadas con jurisdicción en la Serranía de las Quinchas, es una herramienta para construir concertadamente estrategias de manejo para el manejo y uso sostenible de los recursos naturales.

El proceso de zonificación debe ser actualizado por la producción de nuevos conocimientos y acontecimientos en la realidad ambiental y nuevas tecnologías, sin desconocer la dinámica socioeconómica de la Serranía de las Quinchas.

Es necesario analizar que, para poder llevar a cabo las actividades de preservación, conservación, planteadas en esta investigación, es necesario contar con un marco jurídico dinámico, sólido y especialmente funcional que permita adelantar estas actividades en un horizonte de tiempo que se anticipe a las actividades ilegales, de tal forma que se pueda hablar de una gestión ambiental institucional.

Una de las limitantes de este trabajo es la carencia de procesos participativos comunitarios en el desarrollo de las actividades, que se deben tener presentes, por cuanto la participación de la sociedad en estos procesos es de vital importancia.

#### **Declaración sobre conflicto de interés:**

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés sobre el artículo.

#### **Referencias Bibliográficas**

Acuerdo 116 de 2009 [Corporación Autónoma Regional de Santander]. Por el cual se declara como área protegida de carácter regional en la categoría de Parque natural regional el territorio de la Serranía de las Quinchas.

Aldana, A. T., y Bosque, J. (2008). Evaluación de la zonificación de uso del Parque Nacional Sierra de La Culata, Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 23(May), 9–34.

Arboleda, A., y Moyano, D. (2013). Aplicación de un método de identificación y priorización de servicios ecosistémicos para la formulación de medidas de gestión de un ecosistema en el marco del ordenamiento territorial en el Municipio de Mosquera Cundinamarca.

Balcázar, V., M. P., Rangel Ch., J. O., & Linares-C., E. L. (2000). Diversidad florística de la Serranía de Las

Quinchas, Magdalena Medio  
 (Colombia). *Caldasia*, 22(2), 191–224.

<https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>

Baskaran, N., Boominathan, D. (2010) Road Kill of Animals by Highway Traffic in the Tropical Forests of Mudumalai Tiger Reserve, Southern India, *Journal of Threatened Taxa*, vol. 2, n° 3, pp. 753-759.

Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño. (2017). *Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Nare* (código 2308-04). Medellín. Colombia.

Beier, P., Majka, D. R., y Spencer, W. D. (2008). Forks in the road: Choices in procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology*, 22(4), 836–851.

Clavenger, A. Wierzchowski, B. Chruszcz y K. Gunson (2002). «GIS-Generated, Expert-Based Models for Identifying Wildlife Habitat Linkages and Planning Mitigation Passages,» *Conservation Biology*, vol. 16, pp. 503-514, 2002.

<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00942.x>

Bennett, A. F. (2004). Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la Conservación de la vida silvestre. IUCN —Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (Eds.), 2a. ed., 309 pp. San José, Costa Rica.

De los Reyes, D. (2016). La capacidad de dispersión: factor importante de la riqueza y composición de plantas leñosas en vegetación fragmentada de la campiña sevillana (suroeste de España). *Anales de Biología*, 38, 9–27.

<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2004.FR.1>

El Tiempo (2005, 21 de enero). Perdón y olvido en San Pablo de Borbur.

<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1628979>

Camacho Hernández, Jorge, Adriana Hurtado G., Rosario Ortiz Q., Thomas Walschburger. (1992). Unidades biogeográficas de Colombia. pp.: 105-151. En: *La Diversidad Biológica de Iberoamérica I*. G. Halffter, (ed). *Acta Zoológica Mexicana*, Instituto de Ecología, A.C., México, México.

Fremier, A., Kiparsky, S. Gmir, J. Aycrigg, R. K. Craig, L. K. Svancara y Scott, J. M. (2015). A Riparian Conservation Network for Ecological Resilience,» *Biological Conservation*, n° 191, pp. 29-37.

Cárdenas, M. (2015). *Ordenación forestal sostenible* (D. S. J. N. Luis Mario Camacho (ed.)).

Garzón, N. V., M. P. Córdoba y J. C. Gutiérrez. (2014). Construcción participativa de estrategias de restauración ecológica en humedales del Magdalena Medio, Colombia: una herramienta para el ordenamiento ambiental territorial. *Biota Colombiana* 15 (Supl. 2): 58-86.

Colorado Z., J., Vásquez, J. L. y Mazo, Z, I. N. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en santa elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica colombiana*, 22(3), 379–393.

Geasig. (Especialistas en SIG y Medio Ambiente) (2019). Análisis de coste distancia con ArcGIS. Recuperado de

<https://www.geasig.com/analisis-coste-distancia-con-arcgis/>.

[https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00163-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00163-4)

- Gurrutxaga, M. (2013). La implementación de la conectividad ecológica a distintas escalas espaciales. DOSSIER Ciudad Es, January 2013, 139–148.
- Harmsen, B. J., Foster, R. J., Silver, S. C., Ostro, L. E. y. Doncaster, C. P. (2011). Jaguar and Puma Activity Patterns in Relation to their Main Prey. *Mammalian Biology*, vol. 76, pp. 320–324.
- IDEAM. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales). (2012). Catálogo De Patrones De Coberturas De La Tierra Colombia. *Ideam*, 10(20), 3527110–3527160. [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) (2020). Cartografía base: Departamento de Boyacá y Santander. Recuperado de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- Isaacs, C., P. Trujillo, L., & Jaimes, V. (2017). Zonificación de alternativas de conectividad ecológica, restauración y conservación en las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera, cuenca del río Tunjuelo (Distrito Capital de Bogotá), Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 70–88. <https://doi.org/10.21068/c2017v18s01a04>
- Jongman, R. H. G., Kùlvik, M., & Kristiansen, I. (2004). European ecological networks and greenways. *Landscape and Urban Planning*, 68(2–3), 305–319.
- Keitt, D. U. T. (2000). Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology and Evolution*, 5(1), 1205–1218. <https://doi.org/10.1002/sml.200801002>
- Kelly, M. J., Noss, A. J., Di Bitetti, Maffei, M. S., Arispe, R. L., Paviolo, A. y Di Blanco (2008). Estimating Puma Densities from Camera Trapping Across Three Study Sites: Bolivia, Argentina and Belize. *Journal of Mammalogy*, vol. 89, pp. 408–418.
- Laverde Oscar, Gary Stiles F, M. C. (2005). Nuevos registros e inventario de la avifauna de la Serranía de las Quinchas, un área (AICA) en Colombia New records and updated inventory of the avifauna of the Serranía de las Quinchas, an important bird area (IBA) in Colombia. *Caldasia*, 27(2), 247–265.
- Laurance WF. (1997). Hyper-disturbed parks: edge effects and the ecology of isolated rainforest reserves in tropical Australia. In Laurance WF, Bierregaard RO. (eds.). *Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*. Chicago: The University of Chicago Press, 71–83.
- Lima, T., Teixeira, D., Herculano, R., & Nogueira, S. (2010). El uso de SIG en la zonificación de las áreas protegidas –APA-ITAÚNA/BRASIL. *Tecnologías de La Información Geográfica: La Información Geográfica Al Servicio de Los Ciudadanos*, 889–904.

- Magdalena, M., Cortés, C., y Calva, G. (2011). Zonificación territorial de la cuenca del Río Eslava, D. F., a partir de la identificación de áreas ecológicamente sensibles. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 11(22), 36.
- Martínez, A. (2019). Análisis de conectividad estructural en el corredor kárstico del oriente antioqueño: un análisis exploratorio para el manejo ambiental del territorio”, Trabajo de grado Especialización en Sistemas de Información Geográfica, Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingenierías, Medellín.
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712–2724. <https://doi.org/10.1890/07-1861.1>
- McRae, B. H. y Kavanagh, D. M (2011) Linkage Mapper Connectivity Analysis Software, Seattle: The Nature Conservancy.
- McRae, B. H., Shah, V., & Mohapatra, T. K. (2013). *Circuitscape User Guide* (No. 4). The Nature Conservancy.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). La restauración como acción de compensación para proyectos licenciables / Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos; textos: Lozano Rodríguez, Laura Andrea; Vieira Muñoz, María Isabel; Ramírez Martínez, Natalia María. ---- Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, p.21: (Compensaciones Ambientales del Componente Biótico; no. 4)
- Melo, J. V., López Arévalo H y Velásquez-Sandino, P. (2008). Pérdida de Área Potencial de Distribución y Cacería de Subsistencia del Paujil Colombiano, *Crax albertyi*, Ave Endémica Críticamente Amenazada del Norte de Colombia. *Caldasia*, vol. I, n° 33, pp. 161-177.
- Montoya, R. (2018). Lineamientos epistemológicos para la aplicación de la geografía del suelo. *Sociedad Geográfica de Colombia* (Eds.), 1a., 1-128. Bogotá, D.C., Colombia.
- Montoya, R. (2011). Zonificación ambiental en cuencas hidrográficas. *Académica Española* (Eds.), 1a. ed., 1-316, España.
- Moreno, A., Rusinque, L. (2022). Análisis de la conectividad ecológica de las áreas protegidas a través del paisaje del departamento de Caquetá, Colombia. *Revista cartográfica*, 37–61.
- Navajas, G. (2016). Impactos Sociales y Jurídicos de la declaración de Parque Natural Regional- Serranía de las Quinchas en el Municipio de Puerto Boyacá. Tesis Maestría, Universidad de Manizales.
- Negrões, N., Sarmiento, Cruz, J., Eira, C., Revilla, C., Fonseca y Silveira, L. (2010). Use of Camera Trapping to Estimate Puma Density and Influencing Factors in Central Brazil. *The Journal of Wildlife Management*, vol. VI, n° 74, pp. 1195-1203.
- Ontivero, M. (2008). Propuesta metodológica de zonificación ambiental en la sierra de altomira mediante sistemas de información geográfica. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de Información Geográfica*, 251–280.

- Phillips, J. F., & Navarrete, D. A. (2009). Análisis de Fragmentación y Conectividad. In Estudio de Impacto Ambiental.
- Primack, R. B. (2012). A Primer of Conservation Biology, Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Qadir, S. (2022). Standardization vs. min-max normalization en: <https://www.educative.io/answers/standardization-vs-min-max-normalization>
- Quevedo, A., Urueña, E., Machado, M., Arias, H., Medina, E., Castañeda Z, Moreno, M., Rodríguez, E., Cabarcas, D., Laza, P., Melo, I., Alvarado H., Ochoa, J., Salaman, P., Donegan, T., Avendaño J. y González J. D. (2008), Proyecto Salvando al Paujil Piquiazul, Conservación Colombiana, vol. I, n° 4, pp. 7-15.
- Remolina, F. (2010). Propuesta de estructura ecológica regional De La Región Capital Y Guía Consolidación (Issue 014). Bogotá.
- Rodas, E. (2015). “Zonificación Ambiental de la Cuenca del Rio Fortaleza, Ancash, Perú.
- Romero J. (2019). Plan de ambiente, desarrollo y paz de la serranía de las quinchas en Otanche Boyacá. Programa de Desarrollo y Paz del Occidente de Boyacá–Boyapaz. <https://e3asesorias.com/wp-content/uploads/2019/04/Plan-de-ambiente-Paz-y-Desarrollo-Las-Quinchas-Boyac%C3%A1-Versi%C3%B3n-2304.pdfStiles>
- Sabatini, M.C., Verdiell, A., Rodríguez, R.M. y Vidal, M. (2007): A quantitative method for zoning of protected areas and its spatial ecological implications. Journal of Environmental Management, 83, pp. 198-206.
- Schwartz, M. W., Brigham, C. A., Hoeksema, J. D., Lyons, K. G., Mills, M. H., & Van Mantgem, P. J. (2000). Linking biodiversity to ecosystem function: Implications conservation ecology. *Oecologia*, 122(3), 297–305. <https://doi.org/10.1007/s004420050035>
- Sguerra, S., P. Bejarano., O. Rodríguez, J. Blanco, O. Jaramillo, G. Sanclemente. (2011). “Corredor de Conservación Chingaza – Sumapaz – Guerrero. Resultados del Diseño y Lineamientos de Acción”. Conservación Internacional Colombia y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP. Bogotá, Colombia. 184 pp.
- Spear, S. F., Balkenhol, N. M., Fortin, J.B., McRae, H. y K. I. (2010). Scribner. Use of Resistance Surfaces for Landscape Genetic Studies: Considerations for Parameterization and Analysis Molecular Ecology, vol. IV, n° 30, pp. 3576-3591.
- Stiles, F. y Bohórquez C. (2000). Evaluando el estado de la biodiversidad: el caso de la avifauna de la serranía de las Quinchas, Boyacá, Colombia. *Revista Caldasia* No. 22 (1) 61-92.
- Suarez, K. Parra, G., Reyes, C. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 7(2), 29. <https://doi.org/10.21068/C2016v17r01a01>.

- Taylor, P.D., L. Fahrig, K. Henein & G. Merriam. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68:571-573
- Theobald, D. M., Reed, S. E., Fields, K., y Soulé, M. (2006). Connecting natural landscapes using a landscape permeability model to prioritize conservation activities in the United States. *Conservation Letters*, 5(2), 123–133.  
<https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2011.00218.x>
- Toro, S. (2020). Análisis de conectividad espacial entre las áreas protegidas del sistema nacional SINAP de una región del sistema Kárstico en el flanco oriental de la Cordillera Central, en el Magdalena Medio Colombiano.
- Van der Ree, R. Smith D. J y C. Grilo (2015). *Handbook of Road Ecology*, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons.
- Vásquez- V., V.H.& M., Serrano (2009) *Las áreas naturales protegidas de Colombia. Conservación Internacional-Colombia& Fundación Biocolombia. Bogotá, Colombia.*
- Villamizar, D. (2017). Las guerrillas en Colombia: Una historia desde los orígenes hasta los confines. Debate. Vogt, P y Riitters, K. *GuidosToolbox: Universal Digital Image Object Analysis. European Journal of Remote Sensing*, vol. 50, n° 1, pp. 352-361.
- Wiens, J. A. (2002). Riverine Landscapes: Taking Landscape Ecology Into the Water, *Freshwater Biology*, vol. 47, n° 4, pp. 501-515.
- Wyborn, C. (2011). Landscape Scale Ecological Connectivity: Australian Survey and Rehearsals. *Pacific Conservation Biology*, 17, 121–131.
- Zeller, K. A. McGarigal, K y Whiteley, A. R. (2012). Estimating Landscape Resistance to Movement: A Review, *Landscape Ecology*, vol. 27, n° 6, pp. 777-797.