



Biota Colombiana

ISSN: 0124-5376

biotacol@humboldt.org.co

Instituto de Investigación de Recursos
Biológicos "Alexander von Humboldt"
Colombia

Isaacs-Cubides, Paola Johanna; Trujillo-Ortiz, Ledy N.; Jaimes, Vilma
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, vol. 18, núm. 1, junio, 2017, pp. 70-88
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt"
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49151841003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

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

Zonification of alternatives for ecological connectivity, restoration and conservation of the Curubital, Mugroso, Chisacá and Regadera microdrainages of the Tunjuelo River (Capital District of Bogotá), Colombia

Paola Isaacs-Cubides, Ledy Trujillo y Vilma Jaimes

Resumen

El Distrito Capital presenta una gran diversidad de coberturas naturales e intervenidas, que requieren acciones de conservación y restauración para la preservación de los bienes y servicios que presta y su biodiversidad. Sin embargo, es necesario contar con insumos espaciales que permitan ubicar las zonas que requieren de estas acciones y que a su vez sean fuente para la toma de decisiones en especial en términos de conservación y conectividad entre coberturas. Se desarrollaron tres modelos de resistencia o conductancia con base en la cuantificación de criterios físicos, bióticos y socioeconómicos, definidos mediante reunión con expertos e insumos cartográficos disponibles, que incluyeron además un análisis funcional relacionado con aspectos ecológicos de la vegetación y un grupo de mamíferos. Los modelos obtenidos muestran las zonas de mayor estado de conservación o menor resistencia para las especies y adicionalmente indica las zonas con mayor intervención y mayor resistencia, estas con el fin de realizar una zonificación de las actividades de restauración en especial en zonas de páramos y bosques transicionales altoandinos. Los modelos también complementan lo propuesto en la Estructura Ecológica Distrital correspondiente a la conectividad, representatividad y cantidad de áreas protegidas, ya que desde una mirada funcional y el análisis de la composición y configuración del paisaje, aporta otros insumos que complementan las estrategias planteadas.

Palabras clave. Conexión. Estructura ecológica distrital. Fragmentación. Modelos de resistencia. Zonificación.

Abstract

Bogotá has a wide variety of natural and impacted vegetation covers, which require conservation and restoration actions to preserve the goods and services they provide as well as their biodiversity. However, a spatial analysis is necessary to locate which areas require these actions that will also become a source of information for decision making, especially in terms of conservation and connectivity between vegetation covers. We develop three models of resistance or conductance based on the quantification of physical, biotic and socio-economic criteria, defined by meetings with experts, and available cartographic resources that includes a functional analysis based on the ecological aspects of the vegetation cover and a group of mammals. The models obtained show the best

conserved areas or least resistance for species and also indicate those areas with greater degradation and higher resistance. This information facilitates the zonification of restoration activities, particularly in mountain moors and transitional Andean forests. The models also complement the proposals made in the Ecological Structure of the District report with respect to connectivity, representativeness and number of protected areas, because from the functional view and the analysis of the composition and configuration of the landscape, it provides other inputs to complement the proposed strategies.

Key words. Connection. Ecological Structure of the district. Fragmentation. Resistance models. Zonation.

Introducción

En la actualidad las coberturas naturales se han visto eliminadas por diferentes actividades humanas como la urbanización, deforestación, minería, establecimiento de cultivos y ganadería, entre otras, las cuales causan efectos adversos para las coberturas remanentes y representan un gran riesgo para la sobrevivencia y mantenimiento de la biodiversidad. Esta pérdida ocasiona lo que se conoce como fragmentación del paisaje, lo cual representa una pérdida en las conexiones naturales que hay entre los ecosistemas, separando y afectando el hábitat de las especies y sus poblaciones y exponiéndolas a mayor riesgo de extinción (Forman 1995, Murcia 1995).

Una de las estrategias propuestas para contrarrestar la fragmentación, es la conectividad, definida como el grado en el cual el paisaje facilita o impide movimientos entre parches de hábitat (Taylor *et al.* 1993, 2006) y el cual determina que tan conectado es un paisaje (Urban y Keitt 2001), pretende preservar las conexiones existentes y restaurar las que han sido eliminadas para favorecer la sobrevivencia a largo plazo de las especies (Noss y Cooperrider 1994, Bennett 2006). Las ventajas de trabajar y abordar la conectividad son varias ya que al momento de incrementar la cobertura o mantenerla, se reducen los niveles de contaminación sobre las cuencas, disminuye las consecuencias de la presencia de efecto de borde; adicionalmente mejora la prestación de bienes y servicios ambientales y contribuye a mitigar eventos estocásticos como inundaciones o incendios (Meffe y Carroll 1997, Primack 2001, Beier *et al.* 2008). Adicionalmente, al garantizar la conectividad se brinda mayor oportunidad para conservar procesos

biológicos naturales y facilita a las especies usar otros rangos geográficos en busca de un nicho climático más adecuado (Hargrove *et al.* 2004, Beier *et al.* 2008).

La conectividad del paisaje se puede evaluar espacialmente en términos de composición y configuración del paisaje, determinada por los elementos presentes en el paisaje y como están distribuidos en el espacio respectivamente (Bennett 2006). Igualmente, la conectividad se aborda en términos funcionales, de acuerdo a las necesidades de las especies como tal que van a usar la estructura física del paisaje; este componente es más complejo de abordar ya que está pensado en un organismo en particular y varía según las condiciones locales en cada región donde se vaya a trabajar (Bennett 2006, Taylor *et al.* 2006). La conectividad en el paisaje puede ser implementada por medio de diferentes elementos del paisaje dependiendo del objetivo de conservación, buscando que un organismo pueda dispersarse, colonizar o migrar (Noss y Cooperrider 1994, Sieving *et al.* 2000, Bennett 2006).

La conectividad puede ser abordada de diferentes formas, en muchos casos pensando en acciones de restauración – rehabilitación – recuperación (Isaacs y Ariza 2015) que mejoren las condiciones del paisaje, lo que puede incluir la reconversión de sistemas productivos o la disminución de las presiones que presentes el paisaje (Sguerra *et al.* 2011, Vargas y Ramírez 2014). Es importante considerar que la conectividad, puede actuar como filtro hacia un hábitat hostil (Doak 1995), puede facilitar la presencia

de depredadores y especies exóticas, así como el intercambio de enfermedades (Medici *et al.* 2007) o con individuos de otras poblaciones por efecto de borde (Noss 1991, Murcia 1995, Theobald 2006).

Los modelos de conectividad más empleados desde el ámbito espacial se basan en una grilla de resistencia, donde expresan la dificultad, el costo energético o el riesgo de mortalidad asociado al movimiento de los organismos entre parches de hábitat que conforman un paisaje a través de esa grilla (Urban y Keitt 2001, Adriaensen *et al.* 2003, Hargrove *et al.* 2004, McRae *et al.* 2012). Esta técnica busca espacializar las zonas menos hostiles para el movimiento de las especies, construidas a partir de la unión de diferentes variables espaciales como por ejemplo cobertura, pendiente, altura, presencia de infraestructura humana, distancia a fuentes de agua, entre otros aspectos del hábitat que son importantes para las especies, con valores que se asignan a dichas variables según faciliten o impidan la dispersión de los individuos (Bennett 2006, Theobald 2006). Una vez se cuenta con esa grilla, es posible modelar diferentes formas de conectividad, ya sea para garantizar la conservación, promover la restauración, proponer mejores estrategias de uso, entre otras (Beier *et al.* 2011, McRae *et al.* 2012).

La conectividad y preservación de las áreas protegidas en Bogotá, se ha abordado por medio del diseño de la Estructura Ecológica Distrital (EED), definida como un modelo del encadenamiento espacial de los ecosistemas naturales de una región formando un continuo que aborda por completo el área del Distrito (Remolina 2011). Esta red de espacios produce bienes y servicios ambientales para la ciudad, siendo un proyecto prioritario para la Gestión Ambiental de Bogotá (Remolina 2007). Sin embargo, actualmente la EED presenta varias de sus áreas con un alto grado de intervención, lo que afecta su conectividad y genera una modificación en la estructura y composición del paisaje especialmente hacia las zonas rurales de Usme (Isaacs y Jaimes 2015).

A pesar de ello, el paisaje ha mantenido algunos remanentes de vegetación natural hacia las zonas de Cerros Orientales, Usme y Sumapaz, que debido

a sus atributos de tamaño y forma, mantienen los flujos ecológicos y sus servicios ecosistémicos, ejerciendo una importante función conectora entre fragmentos (Remolina 2007, Correa 2008, Phillips y Navarrete 2009, Sguerra *et al.* 2011, Isaacs y Jaimes 2015). Este es el caso de las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera del Distrito Capital de Bogotá, las cuales presentan varios elementos de la EED, pero la conectividad no es continua con relación a las demás áreas protegidas como los bosques de los Cerros Orientales y a áreas de importancia nacional como el Parque Nacional Natural Sumapaz. Asimismo, es lugar de nacimiento de varios acueductos y ríos importantes, presenta invasión por retamo espinoso, plantaciones de pino y eucalipto y corresponde a una transición entre los bosques y el páramo, perteneciendo al complejo de páramos Cruz Verde - Sumapaz (Morales *et al.* 2007) y del corredor de conservación Sumapaz - Chingaza - Guerrero. Estos atributos hacen la zona interesante para iniciar actividades de restauración, rehabilitación, recuperación y preservación, tema sobre el cual existen pocos trabajos desarrollados desde el análisis espacial para el Distrito y que son necesarios para definir las acciones específicas a tomar.

En el presente trabajo se buscó realizar una zonificación de áreas para la conectividad ecológica desde un análisis físico, biótico y social en las microcuencas nombradas, como insumo para definir áreas de restauración y preservación y que complementen las estrategias de conservación planteadas para esta zona.

Material y métodos

Área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera, en la localidad de Usme, aunque toma algunas partes de la localidad de Sumapaz y Ciudad Bolívar al sur del Distrito Capital de Bogotá, Colombia (Figura 1). Las cuatro microcuencas se ubican sobre la cordillera Oriental y hacen parte de la gran cuenca del río Tunjuelo cubriendo un área de 11160 ha a una

altura entre los 3.000 y 3.900 m s.n.m. (Isaacs 2011). De acuerdo al mapa de coberturas (Isaacs y Jaimes 2015), la zona está dominada por páramos y mosaicos de pastos y cultivos, en donde la frontera agrícola poco a poco ingresa a los páramos y solo mantiene algunos corredores riparios de matorrales transicionales, lo que ha venido amenazando la conservación de la zona (Isaacs 2011).

Metodología

Con base en la cartografía existente, salidas de verificación en campo y diferentes reuniones realizadas con expertos, se definieron tres criterios identificados como importantes en la selección de áreas para la zonificación espacial de la zona. Estos tres criterios se denominaron: 1) biótico, 2) socioeconómico y 3) físico, para construir un modelo de resistencia que sirviera de base para modelar conectividad. En estos términos, se tomó la conectividad como aquellas zonas que facilitan el movimiento de las especies y le dan continuidad al paisaje, con base en una grilla de resistencia y que conectan dos parches de hábitat los cuales se definieron con base en dos áreas protegidas que presentan la categoría de protección más alta en la EED (Adriaensen *et al.* 2003, Beier *et al.* 2008, McRae *et al.* 2008).

De acuerdo a la cartografía disponible para la zona, cada tipo de mapa fue asignado a uno de los criterios y se le definieron unas variables con base en los atributos que presentaba cada archivo. A cada uno de los atributos se le asignó un valor en su categorización si son más resistentes o no de acuerdo a un organismo en particular. En este caso, esto se hizo con el fin de que el modelo considerara aspectos funcionales para un usuario específico, en el que esos valores se ajustaban a los requerimientos de hábitat y necesidades de conservación del zorro común (*Cerdocyon thous*) que habita en la región y que fue evaluado según información secundaria de los registros de presencia para la zona reportados en bases de datos (ver Isaacs 2011). En este caso se consultó su rango de hogar y requerimientos de hábitat en la base de datos del Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional (ICN), en la página de la UICN y en el libro

de Mamíferos del Neotrópico de Emmons (1990). De la página del ICN, se descargaron los archivos de coordenadas para las especies, para conocer qué zonas son las que frecuenta y las que evita la especie.

Criterio físico

De acuerdo a lo anterior, para el criterio físico (Figura 2), se emplearon las capas de vías, ríos y cobertura. En primer lugar, las vías se encuentran categorizadas en tres niveles de acuerdo al tráfico y amplitud, a cada vía se le calculó un buffer de 100 m de incidencia y se le otorgó un valor, siendo más bajo para las de primer orden que son las más concurridas y por tanto más resistentes y hostiles para las especies. La justificación de los valores asignados se observan en la tabla 1. En segundo lugar, se incluyó la distancia a los ríos, a través de un buffer de 30 m y 100 m de ronda de protección de acuerdo a su magnitud (si son de primer, segundo o tercer orden), según lo propuesto por el decreto Decreto 2811 de 1974. Estos están subdivididos considerando que los ríos de primer orden tienen valores más altos de prioridad de conservación y seguido a estos se incluyeron las quebradas y cuerpos de agua. Por último, para este criterio se incluyó la capa de cobertura de la tierra, usando una clasificación manual de una imagen Ultracam (Igac 2010, escala 1:25.000). Para esta capa se asignaron mayores valores para las coberturas naturales y menor valor para las áreas intervenidas (Tabla 1).

Para el segundo criterio (socioeconómico), se usaron las áreas abastecedoras del recurso hídrico, tipo de uso del suelo potencial, capas de la EED y tamaño de predios. Se incluyeron las áreas abastecedoras de acueductos como zonas de protección del recurso hídrico y abastecimiento para los pobladores, lo cual es una razón de peso para las comunidades locales (Tabla 1). El tipo de uso del suelo es una propuesta que define cual es el uso más apropiado de una zona de acuerdo a sus características de suelo, relieve, vulnerabilidad y amenaza. Según esto, se clasifica en áreas donde el uso puede ser urbano y agrícola (el que mayor resistencia presenta), o el uso no es permitido y el área debe ser conservada (la resistencia es menor).

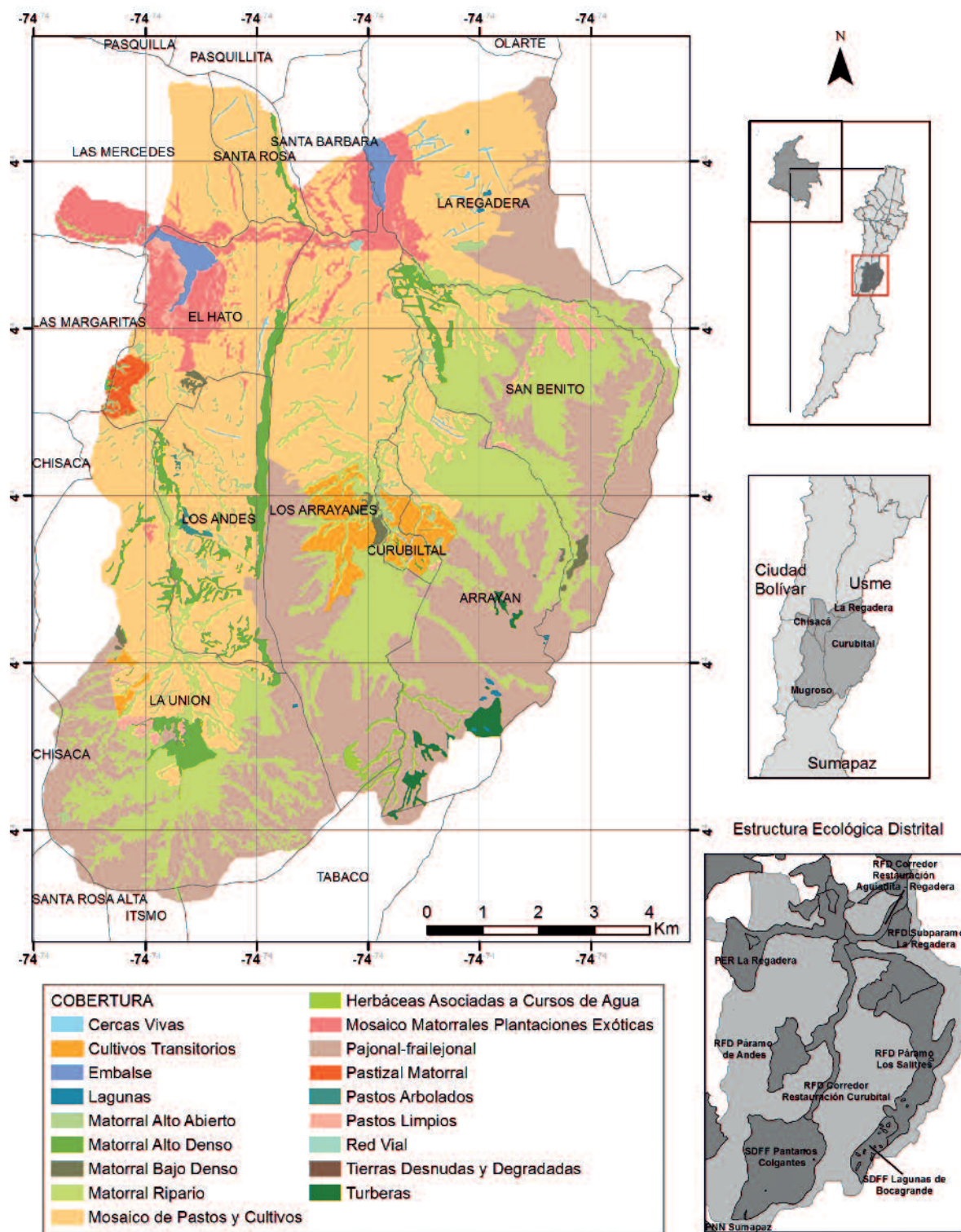


Figura 1. Cobertura de la tierra para las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera del Distrito Capital a escala 1:25.000 y su ubicación relativa. Elaboración propia, fuentes: cartografía SDA (2011), Igac (2014).

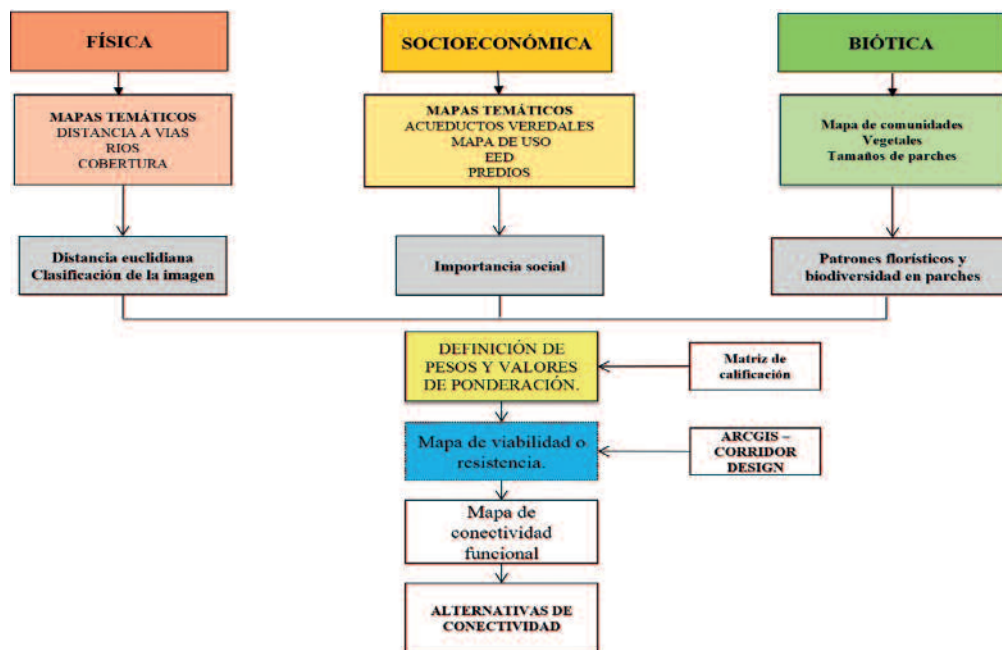


Figura 2. Metodología para el desarrollo de la evaluación y propuesta de conectividad.

Criterio socioeconómico

En este caso a pesar de tener un uso propuesto, no descarta que se deban realizar acciones de restauración. Para la EED presenta unas categorías de preservación y restauración previamente establecidas, en las que varía el grado de conservación o uso permitido. Especialmente el PNN Sumapáz y las Reservas Forestales Protectoras son las tierras donde hay mayor garantía de conservación a largo plazo debido a su categoría de protección, por eso recibieron los mayores valores. A las que presentan mayor flexibilidad en el uso permitido se les asignó menor valor ya que presentan menor estado de conservación a largo plazo. Finalmente, los tamaños de predio se tomaron para conocer la situación de la tenencia de la tierra en la zona y determinar las viabilidades sociales de la implantación ya sea de actividades de restauración o de conservación (Theobald 2006).

Criterio biótico

Finalmente, para el tercer criterio biótico, se incluyeron patrones florísticos y de la diversidad de las comunidades vegetales caracterizadas en estas microcuencas, en zonas donde se presenta la menor

intervención posible según lo observado en los mapas de cobertura. Esto se incluyó con el fin de considerar aspectos bióticos para la conectividad adicionales a los reportes del zorro común, con base en esas zonas donde hay mayores condiciones de conservación para las especies y son más viables en términos también de hábitat. Adicionalmente, son zonas que presentan mayor valor por su riqueza, abundancia, diversidad, estructura y amenaza, como zonas de referencia y fuente para acciones de restauración (Trujillo 2012).

De acuerdo a esto, se contó con un total de 41 levantamientos realizados, para 15 comunidades vegetales en coberturas de bosques, bosques riparios, matorrales y páramos distribuidos en la zona de estudio. Con base en los levantamientos, se consideraron dos grandes atributos, uno relacionado con la diversidad que incluyó el índice de diversidad de Shannon, Índice de riqueza de Margalef, Diversidad Beta y Diversidad alfa y otro relacionado con los patrones florísticos que se establece para cada especie dentro de cada comunidad, incluyendo el Índice de Valor de Importancia - IVI, Índice de Predominio Fisionómico - IPF, Estado de amenaza y grado de exclusividad (Tabla 2).

Tabla 1. Matriz de pesos construida para los diferentes criterios y variables a considerar para el modelo de conectividad propuesto. Los valores altos corresponden a zonas con menor resistencia y más viables para la conectividad.

Variable de conectividad		
Variable	Valor	Justificación
Criterio físico		
Vías (Catastro distrital 2012)		
Vías primer orden	0	Las vías producen ruido y vibraciones que interfieren con las actividades de los individuos, promueven la erosión, crean barreras, fragmentan el paisaje y favorecen la contaminación del agua (Beier <i>et al.</i> 2008, Majka <i>et al.</i> 2009). Si su magnitud es mayor representa mayor riesgo para las especies.
Vías segundo orden	3	
Vías tercer orden	7	
Distancia a ríos (SDA 2012)		
Ríos principales	20	La distancia a fuentes de agua, es un elemento de importancia para las especies y la prestación de bienes y servicios ambientales (Beier <i>et al.</i> 2008). Es eje primordial dentro de las políticas del Distrito para garantizar el suministro de agua y las zonas riparias se constituyen como los únicos remanentes de vegetación nativa. Los ríos principales presentan mayor prioridad de conservación y por eso presentan mayor valor (Jongman 2004).
Quebradas	10	
Cuerpos de agua	5	
Cobertura de la tierra (JBB 2012)		
Herbáceas asociadas a cuerpos de agua	80	La cobertura de la tierra es una variable de gran importancia dentro de los modelos de hábitat de varias especies, reflejada en el hecho que está relacionada con la alimentación, sitios de refugio e intervención antrópica (Beier <i>et al.</i> 2008, Majka <i>et al.</i> 2009). En este caso, las coberturas de bosques y páramos son de gran importancia para la conservación en el Distrito, ya que proveen gran cantidad de servicios ecosistémicos y para la biodiversidad, especialmente lo que corresponde al recurso hídrico y las poblaciones de flora y fauna nativa que aún se mantienen. Los cultivos si bien eliminan la vegetación original, aún son fuente de refugio y recursos para las especies de fauna y permiten procesos naturales, a diferencia de los pastos para ganadería que con un mal manejo deterioran los procesos y servicios de los ecosistemas (compactación y degradación del suelo, afectación del drenaje, eliminación de la cobertura, entre otras; Jarro 2005). Las plantaciones exóticas mantienen la estructura de los bosques y permiten la presencia de fauna no siendo tan hostiles como aquellas que eliminan la vegetación natural. Bajo este orden de ideas, su cuantificación se asignó de mayor a menor valor para la conservación.
Matorral ripario, alto denso y bajo denso	80	
Pajonal Frailejonal y Turberas	80	
Matorral alto abierto	15	
Pastizal matorral	15	
Mosaico plantaciones exóticas, pastos arbolados y cercas vivas	15	
Cultivos transitorios	5	
Cuerpos de agua y lagunas	5	
Mosaico de pastos y cultivos, pastos limpios y tierras desnudas y degradadas	0	

Cont. Tabla 1. Matriz de pesos construida para los diferentes criterios y variables a considerar para el modelo de conectividad propuesto. Los valores altos corresponden a zonas con menor resistencia y más viables para la conectividad.

Variable de conectividad		
Variable	Valor	Justificación
Criterio socioeconómico		Tamaño de predio (ha.; Catastro 2012)
0-10	10	Se da prioridad a predios grandes con un solo propietario que permitirán actividades y propuestas de manejo de forma más fácil que tratar de concertar con muchos predios pequeños (Theobald 2006); Asimismo, los predios mayores a 1000 ha presentan coberturas naturales de mayor tamaño.
10-100	30	
>100	60	
Tipo uso del suelo (SDA 2012)		
Sistema de Áreas Protegidas, Sustracción de la reserva, zona a alinderar por la CAR.	50	Aquellos suelos de expansión, de alta capacidad y con asentamientos menores tienen potencial de uso, así que no garantizan la conservación y tendrán menor posibilidad de implementación que aquellos de manejo especial, áreas de reserva y zonas a alinderar por la CAR que si tienen intrínseca la conservación sin proyección de usos y que no permiten actividades extractivas.
Manejo especial	25	
Alta fragilidad	15	
Alta capacidad	5	
Asentamientos menores	3	
Suelo urbano y de expansión	2	
Áreas abastecedoras de acueductos		
Áreas abastecedoras de acueductos	50	Preservación del recurso hídrico para los habitantes.
Áreas protegidas – EEP		
Parque Nacional Natural	35	Áreas protegidas bajo un marco legal que garantiza la conservación a largo plazo de las zonas. Su calificación es mayor si la figura de protección es más fuerte.
Reserva Forestal Protectora	20	
Santuario Distrital de Fauna y Flora	15	
Ronda Bogotá, Área forestal distrital, Parque ecológico distrital de humedal y PED de montaña	10	

Cada criterio presentó una categoría de mayor a menor valor, a la cual se le asignó un valor de uno a cinco (Tabla 3). Con ello se construyó una matriz de valores acumulados por comunidad levantada, donde la ubicación de cada comunidad se asoció a un parche dentro del mapa de coberturas. Cabe aclarar que para el valor de los patrones florísticos, se suman los valores presentados por cada una de las especies presentes en cada comunidad.

Asimismo, estas coberturas naturales fueron reclasificadas por tamaños (Tabla 4), con el fin de priorizar aquellas zonas que tienen mayor potencial de conservación por su extensión y aquellas menos viables por su reducido tamaño. Esta variable de tamaño se ha reportado como una de las más importantes dentro de la evaluación de patrones del paisaje, por su relación con la mayor disponibilidad de hábitat para las especies, mayor funciones de la biodiversidad, reducción de endogamia, incidencia de efecto de borde, etc. (Goulart da Silva *et al.* 2015).

Modelamiento de conectividad

Posteriormente a la definición de los criterios y los valores de las variables de cada uno de los modelos, se obtuvieron los mapas de resistencia para cada

criterio (físico, socioeconómico y biótico), el cual es el insumo para definir zonas de conectividad y áreas para restauración. Este muestra esas zonas en mejor estado de conservación y menor resistencia para las especies, que de acuerdo a los mapas obtenidos, corresponden a los mayores valores. Finalmente, se obtuvo un modelo que reúne la información de los tres criterios, en donde se identifican las áreas más viables que son útiles para plantear estrategias de conectividad y conservación, las más intervenidas y con mayor resistencia en donde se deberían plantear acciones de restauración según las condiciones de cada lugar. Esto se realizó mediante operaciones de álgebra booleana de mapas para cada criterio usando ArcGIS 10.3. Por último, este modelo fue usado como insumo para modelar la conectividad mediante el uso del programa *Circuitscape* 4.0 (McRae *et al.* 2008). En este caso, se debe asignar dos zonas núcleo a conectar, las cuales por un lado debe tener mejor estado de conservación, deben ser áreas protegidas declaradas y su categoría de protección no debe ser amenazada a futuro y siendo lo más rigurosa posible. De acuerdo a esto, se tomó como núcleos dos áreas ubicadas en los extremos de las microcuencas como el Corredor de conservación, Aguadita – La Regadera y el Parque Nacional Natural Sumapaz.

Tabla 2. Criterios planteados para la evaluación de las comunidades vegetales para el criterio biótico.

Criterio de Evaluación		Concepto
Indicadores de Biodiversidad	Diversidad de Shannon	Diversidad de especies en la comunidad
	Riqueza de Margalef	Número de especies en la comunidad
	Diversidad Beta	Diversidad de especies a nivel regional
	Diversidad Alfa	Diversidad de especies a nivel local
Patrones florísticos	IVI	Índice de Valor de Importancia
	IPF	Índice de Predominio Fisionómico
	Estado de amenaza	Categoría de Amenaza
	Grado de exclusividad	General o exclusiva de una cobertura en el sitio de estudio.

Tabla 3. Categorización de los valores asignados a cada uno de los criterios para el criterio biótico.

Criterio	Categoría	Valor
Diversidad	Muy alto	5
Riqueza	Alto	4
Abundancia	Medio	3
IVI	Bajo	2
IPF	Muy Bajo	1
Estado de amenaza	En Peligro Crítico (CR)	5
	En Peligro (EN)	4
	Vulnerable (VU)	3
	Casi Amenazada (NT)	2
	Preocupación Menor (LC)	1
	Datos Insuficiente (DD)	0
Grado de exclusividad	Endémica páramos de Colombia	5
	Endémica Colombia	5
	Restringida a páramo	3
	Restringida a bosque	3
	Amplia distribución	0

Tabla 4. Categorización de los tamaños de parche y su valor asignado para el criterio biótico.

Tamaños de parches vegetación	Valor
0-10 ha	5
11-100 ha	15
101-999 ha	30
> 1000 ha	50

Resultados

Modelo físico

Como resultado de la modelación para el primer criterio, se encuentran en rojo las áreas que representan un hábitat más hostil para las especies. En este caso las zonas menos favorables son aquellas pertenecientes a cultivos y pastos en las que se busca evitar vías y favorecer la conservación de los drenajes. En verde, se encuentran las zonas de coberturas naturales de páramos y matorrales y se destacan las zonas de drenajes especialmente, también se pueden observar pequeñas zonas intervenidas en color rojo en la vereda San Benito y al sur de la vereda La Unión (río Mugroso). Con valores intermedios en naranja y amarillo se encuentran las áreas de especies exóticas de los embalses de La Regadera y Chisacá (Figura 3).

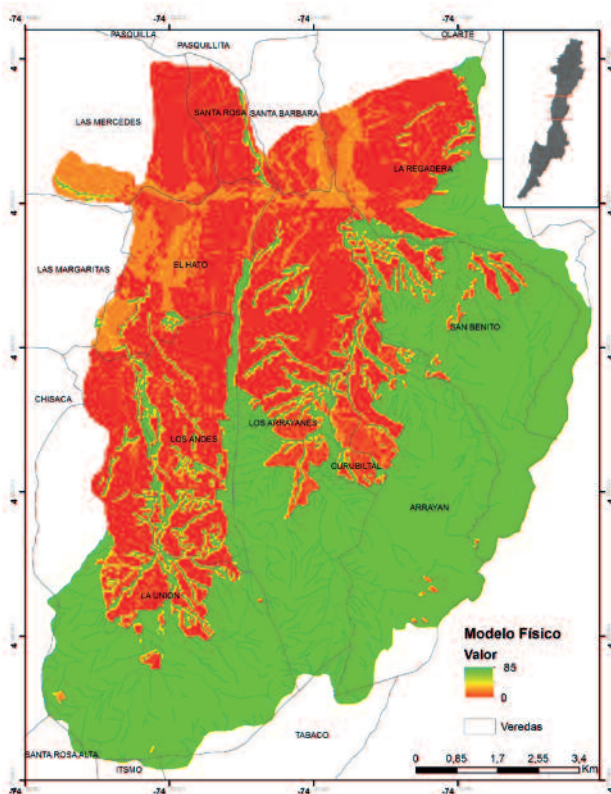


Figura 3. Modelo resistencia generado con las capas de cobertura, distancia a ríos y vías según el primer criterio físico. Escala 1:25.000. En rojo los valores con mayor resistencia y en verde los más viables para las especies.

Modelo socioeconómico

Por su parte el segundo modelo (criterio socioeconómico) se ve altamente influenciado por el tamaño de los predios y de las áreas protegidas declaradas de la EED, las cuales son de gran tamaño y que son las que se encuentran en verde; en amarillos se encuentran las áreas de manejo especial y en naranja las áreas de usos restringidos (Figura 4). Las demás divisiones al interior responden a los usos del suelo permitidos.

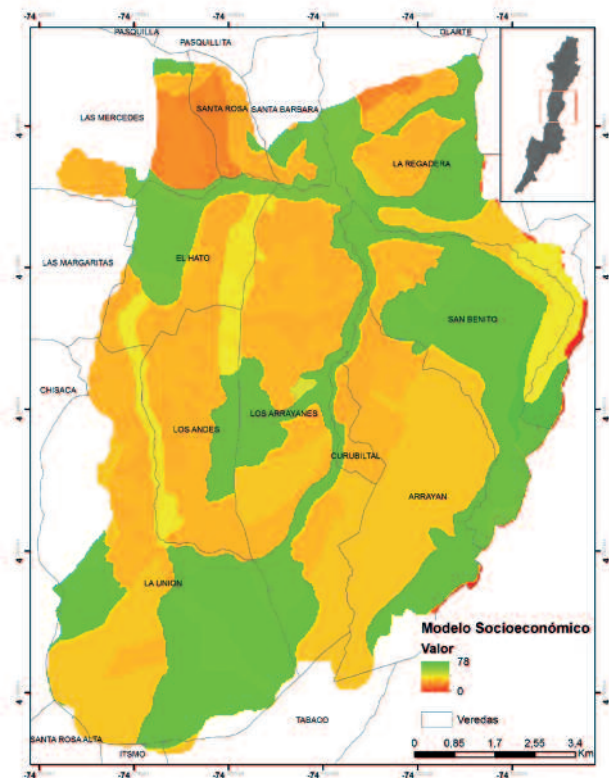


Figura 4. Segundo modelo de resistencia generado con las capas de EED, tamaño de predios, uso del suelo y áreas abastecedoras del recurso hídrico para el criterio socioeconómico. Escala 1:25.000. En rojo los valores con mayor resistencia y en verde los más viables para las especies.

Modelo biótico

Para el tercer modelo, de la cuantificación asignada con base en los datos de campo, se observa una zona de alta conservación al sur de la vereda los Arrayanes, una zona intermedia en amarillo y una naranja entre las veredas Los Arrayanes, Arrayán, Curubital y San Benito (Figura 5). En estas zonas los mayores valores se presentaron en los matorrales riparios donde se presentan comunidades dominadas por *Bucquetia glutinosa* – *Gaultheria anastomosans* – *Diplostegium rosmarinifolium* – *Macleania rupestris* – *Befaria resinosa*, *Espeletia grandiflora* – *Arcytophyllum nitidum* – *Vaccinium floribundum* – *Weinmannia tomentosa* – *Ilex kunthiana* – *Valea stipularis*. Estas zonas coinciden con áreas de mayor diversidad y abundancia, así como valores altos de IVI e IPF. Por su parte, en rojo se observan aquellas zonas intervenidas, o donde las comunidades presentan valores bajos según los patrones florísticos y la diversidad.

De igual manera, los matorrales altos se destaca la comunidad dominada por *I. kunthiana*, *M. ligustrina*, *M. rupestris*, aunque se establecieron comunidades en donde la especie dominante es *W. fagaroides* o *W. tomentosa* con menor importancia. Estas últimas especies consideradas importantes para el mantenimiento de las coberturas de bosque, presentan un reducido o ausente sotobosque, siendo unas pocas especies las que dominan. Por su parte, los matorrales riparios al sur de la microcuenca Curubital presentan comunidades dominadas por *B. glutinosa* – *G. anastomosans* – *D. rosmarinifolium* – *M. rupestris* – *B. resinosa*, *E. grandiflora* – *A. nitidum* – *V. floribundum* – *W. tomentosa* – *I. kunthiana* – *V. stipularis*, con el menor valor de resistencia reportada.

Como modelo resultante de los tres criterios se obtuvo un mapa de resistencia con la zonificación que presenta áreas por donde sería más viable plantear conectividad ecológica, así como las áreas

más conservadas con mejores coberturas y estructura vegetales, que presentan una figura de protección más alta en la EED y un uso de la tierra restringido (Figura 6). En amarillo se encuentra las zonas que a pesar de tener cobertura natural no presentan categorías de protección de la EED y tienen un valor asignado por su importancia en términos de la vegetación. En naranja están aquellas zonas con una medida de protección más laxa y uso permitido, con presencia de pastos y cultivos. Y en rojo aquellas zonas que no presentan protección, ausencia de vegetación natural y usos permitidos (Figura 6).

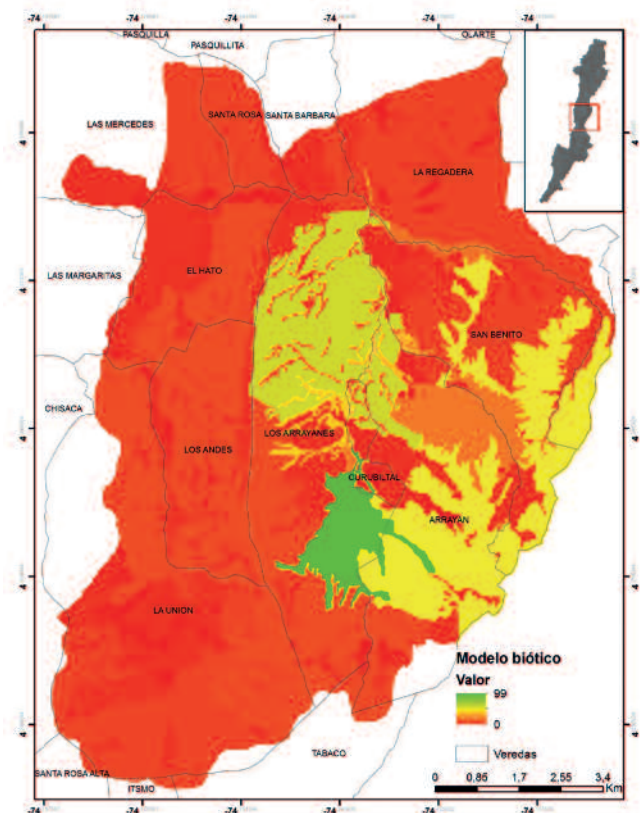


Figura 5. Tercer modelo de resistencia integrando los levantamientos de las comunidades vegetales. Escala 1:25.000. En rojo los valores con mayor resistencia y en verde los más viables para las especies.

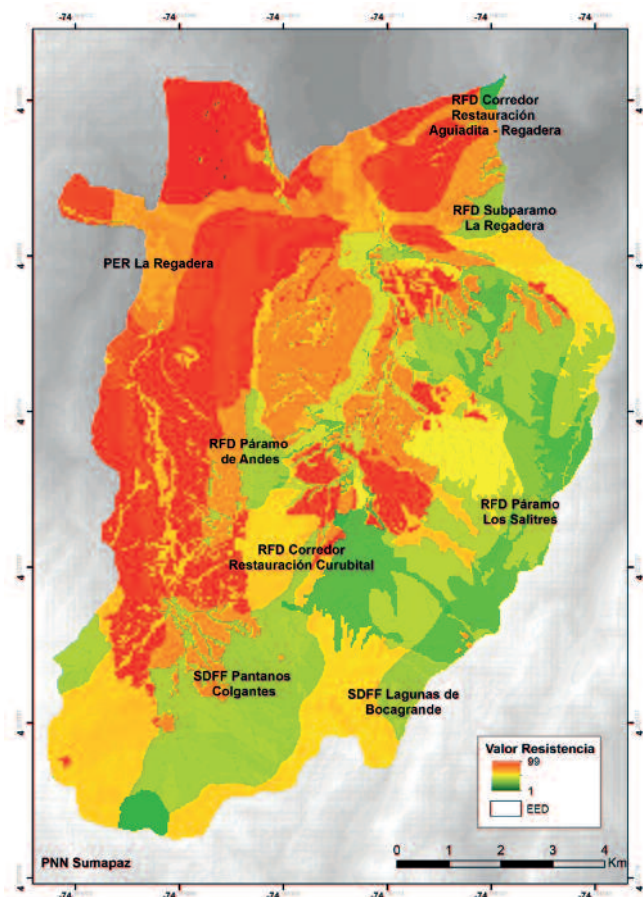


Figura 6. Modelo resultante de la combinación de los tres criterios para el área de estudio. En rojo los valores con mayor resistencia y en verde los más viables para las especies.

Por último, el modelo de conectividad obtenido muestra las zonas con mejor estado de conexión para las microcuencas evaluadas, especialmente sobre las zonas con cobertura natural sobre las áreas de la EED. El modelo adicionalmente muestra las zonas con menor valor de conectividad con coberturas antrópicas y que muestra otras zonas diferentes a la EED (Figura 7).

Discusión

El objetivo del presente trabajo buscó plantear modelos de conectividad que se centraran en ubicar áreas que faciliten el movimiento de las especies mediante la identificación de áreas conservadas y en aquellas que

se centraran en restaurar la conectividad en zonas que presenten intervención o una figura de protección más laxa o ausente. Se buscó adicionalmente generar un modelo metodológico en la escogencia de criterios y de variables que identificaran zonas de resistencia o permeabilidad, como base para la planificación y el diseño de acciones de conservación (entendiendo conservación como el conjunto de acciones de preservación, restauración y uso sostenible).

La base de estos modelos se ha construido de acuerdo a diferentes enfoques disponibles como las grillas de menor costo (Beier *et al.* 2008), teoría de circuitos (McRae *et al.* 2008), modelos con base en

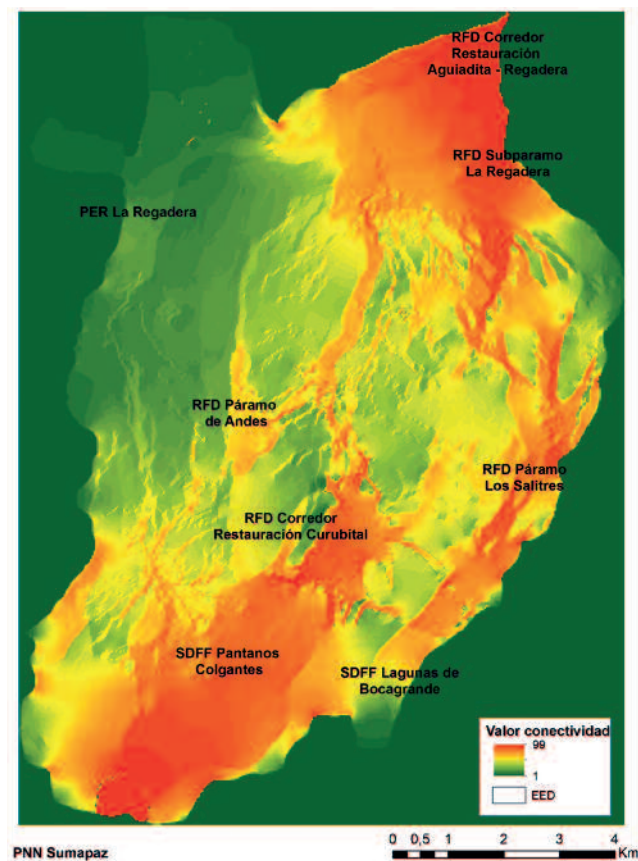


Figura 7. Modelo de conectividad obtenido de los criterios empleados. En rojo se presenta la red de conectividad, la cual corresponde a los valores con mayor viabilidad para implementar y mantener estrategias de conectividad. Los valores con mayor resistencia en verde, muestran aquellas zonas en donde se deben implementar estrategias de restauración (áreas intervenidas) y manejo del paisaje (áreas de páramo y zonas sin categorías de protección).

movimiento (Tracey *et al.* 2006) entre otros, que no modelan únicamente corredores como líneas en el paisaje, sino que permiten identificar áreas con potencial de conservación y áreas con posibilidades de restauración u otros tipos de manejo del territorio que abran acciones potenciales para mejorar la conectividad (McRae *et al.* 2012)

Estos mapas deben ser interpretados por los tomadores de decisión a la luz de costos, beneficios y otros objetivos de manejo, sin embargo, estas herramientas son el insumo base para la planeación de las estrategias de restauración del paisaje y con una perspectiva de paisaje (Metzger y Brancalion 2013, Tambosi *et al.* 2014, Isaacs y Ariza 2015).

La conectividad en el Distrito ha tenido diversos planteamientos para recrear, restaurar o fortalecer las uniones entre las áreas de la Estructura Ecológica Distrital (Sguerra *et al.* 2011, Remolina 2011). Desde su conformación, la EED ha buscado determinar la conectividad entre las coberturas que presenta el Distrito, con una gran necesidad de abordar criterios ecológicos en términos de movimientos locales, dispersión o migración de las especies y que a su vez sea cuantificada y representada en términos de indicadores espaciales que determinen las acciones de conservación a llevar a cabo en términos de restauración ecológica, rehabilitación, recuperación y preservación (Remolina 2011, MADS 2014).

De acuerdo a esto, se abordaron tres criterios que incluyen diferentes aspectos que permiten visualizar la configuración espacial de la zona de estudio. El primero de los modelos, muestra principalmente las zonas con vegetación nativa de páramos y matorrales, aunque es posible identificar áreas intervenidas, que no favorecen la conectividad y que deben ser evitadas. Así mismo, los matorrales riparios y páramos presentan menor resistencia debido a que en esas zonas se encuentran los parches más grandes lo que incrementa su diferencia. Con valores intermedios se presentaron aquellas zonas al borde entre el páramo y los matorrales, con áreas intervenidas donde aún hay matorrales altos y bajos abiertos que hacen una transición entre las coberturas naturales y los

cultivos y pastos. Hacia las zonas de plantaciones los valores de resistencia son mayores por su tamaño y composición, la cual requiere de un manejo especial por corresponder a especies exóticas con algunas invasiones de retamo espinoso. Sin embargo, estas coberturas están rodeadas de una matriz de uso antrópico, aunque actualmente mantenga remanentes de vegetación importantes para la conservación como los matorrales riparios y algunas zonas con valor intermedio de plantaciones exóticas.

Igualmente para este modelo, se observa que en la zona no se han construido vías de gran magnitud, lo que no afecta la continuidad de las coberturas pero si son elementos que se deben evitar si se plantean corredores o zonas de conservación, por las vibraciones, accesibilidad de autos y personas y riesgo de atropellamiento de la fauna (Ng *et al.* 2004). Adicionalmente es posible observar en este modelo, que las zonas de drenajes merecen una mayor importancia tanto para la preservación, como la restauración para un beneficio en términos de bienes y servicios ambientales, así como un insumo primordial para la conectividad de las especies (Phillips y Navarrete 2009, Remolina 2011), sin dejar de lado la importancia de manejar igualmente otras áreas que complementan la conservación de las zonas (Beier *et al.* 2008). Esto se ha planteado como dos de los elementos del paisaje que deben siempre abordarse dentro de los modelos de conectividad y en especial de conservación (Beier *et al.* 2008, Tambosi y Metzger 2014, Goulart da Silva *et al.* 2015).

Es importante destacar, que las zonas más hostiles cubiertas por pastos y cultivos en su momento pertenecieron a áreas transicionales de bosques altoandinos, por lo que se deben encaminar acciones de restauración y rehabilitación de este ecosistema y centrarse en reconectar las áreas naturales hacia los páramos, para garantizar la integridad de la zona. Igualmente, es preocupante el avance que están presentando los cultivos de papa hacia los páramos, con la recurrente incidencia de quemas para su cultivo y la escasa presencia de vegetación en las rondas de los cuerpos de agua (Isaacs y Jaimes 2015).

El segundo modelo, dado que dio mayor peso a la EED, muestra menor resistencia, seguida de otras zonas de matorrales y páramos en naranja que tienen también una propuesta de uso del suelo más restrictivo. Este modelo mostraría áreas que podrían servir como zonas de amortiguamiento de la EED, en donde se pueden dar actividades productivas como sistemas silvopastoriles y agroforestales, que irían enriqueciendo el paisaje intentando devolver su funcionalidad y proveer actividades productivas a los pobladores (Funambiente 2009, Lozano 2014). De acuerdo a lo propuesto en la red de la EED, se debe considerar la categoría de protección que propone, así como el tipo de uso propuesto en las áreas circundantes, lo cual facilitaría la dirección en la que se deben encaminar las acciones de restauración.

Estas cuencas son áreas estratégicas para realizar acciones de restauración, ya que no existe un área dentro de la EED que este conservando coberturas de bosque y que este aportando a la representatividad de las mismas, todas dentro de su figura conservan páramos y subpáramos y únicamente el corredor de conservación del río Curubital estaría ocupando áreas más bajas en donde originalmente se encontraban bosques altoandinos (Sguerra *et al.* 2011, Isaacs y Jaimes 2015). La importancia de restaurar los bosques se debe a que no hay una continuidad entre los Cerros Orientales y las zonas de Sumapaz, por lo que esta fragmentación está afectando la continuidad de las coberturas naturales y la dispersión de los organismos que aún se presentan en el Distrito. Asimismo, el área de estudio hace parte del corredor de conservación Sumapaz, Chingaza, Guerrero, el cual propone el área como zona de conservación que complementa a su vez la Estructura Ecológica de la ciudad-región (Remolina 2011, Sguerra *et al.* 2011).

Para el tercer modelo, se destacan en cada comunidad aquellas que presentaron una mayor estructuración y complejidad, no siendo siempre las que presentaban las especies más representativas o los individuos más desarrollados, pero si son zonas con menor resistencia que actuarían como núcleos o sitios de paso de la

conectividad (Tambosi y Metzger 2013, Tambosi *et al.* 2014).

Este mayor peso a aquellas comunidades con diversidad alta es de gran relevancia para una estrategia de restauración ecológica y preservación ya que se traduce en mayor disponibilidad de hábitat para las especies, en términos de cobertura y alimento. Igualmente, estas zonas podrían ser fuentes de semillas y plántulas para la restauración de las áreas circundantes, en donde se busca ir incrementando el tamaño de los parches progresivamente y de las pocas zonas riparias que se encuentran al norte de Los Arrayanes (Goulart da Silva *et al.* 2015). Estas zonas al presentar mejor estado de conservación de acuerdo a la composición de las comunidades, permitirían acciones de restauración de la vegetación nativa y estaría constituyéndose como una zona de restauración de bosque natural que complementa esa figura del corredor de restauración del río Curubital.

Como es de esperar, puede existir un sesgo debido a la cantidad de levantamientos de vegetación realizados y la extensión de cada cobertura, sin embargo, estas zonas corresponden a los parches más conservados y que contienen muestras importantes de la composición original de la zona. Como en el modelo se incluyeron tamaños de parches, adicionalmente se da peso a aquellos que más contribuyen a la conservación y que igualmente representan un gran aporte para la restauración.

La unión de los tres modelos, está construida con los tres criterios que se comportan como una grilla de resistencia y que muestra las zonas más conservadas para plantear conectividad (McRae *et al.* 2008). Se destaca el valor que es asignado a la EED; el parche de permeabilidad alta ubicado en la vereda Los Arrayanes que ocupa matorrales riparios y matorrales altos, es de gran importancia para fortalecer la EED, ya que es adyacente al corredor de restauración Curubital y no hace parte en su totalidad de esas áreas de conservación. En todos los modelos presenta un valor de permeabilidad alto no solo por su valor en términos de comunidades, sino en cuanto a cobertura,

tamaño de parche y uso permitido. Esta zona podría complementar el Área del Santuario Distrital de Pantanos Colgantes, añadiendo representatividad de las coberturas de matorrales altos densos y riparios, ya que hasta el momento solo contiene coberturas de páramo (ver figura 6).

Para las demás áreas, el mapa final aporta insumos que orientan la decisión de áreas de conservación y restauración como se nombró anteriormente, así como aquellas por donde es más viable plantear conectividad, entendido como el conjunto de acciones tanto de restauración como de manejo en el caso de áreas que están preservadas. Las decisiones deben ser tomadas con información más detallada, obtenida en campo, que valide la propuesta presentada y que permita definir el tipo de restauración a llevar a cabo o la propuesta de áreas de preservación (Aguilar-Garavito e Isaacs 2014).

La escogencia de la EED, buscaba centrar la zonificación en las áreas protegidas consideradas como fuente y conservación de las especies, las cuales deben contar con un manejo adecuado que garantice a largo plazo su conservación ya que no tendrá ningún sentido conectar zonas que no proveerán los recursos necesarios para supervivencia de las especies (Gurrutxaga 2004, Hodgson *et al.* 2011).

Es importante destacar que el presente análisis se realizó únicamente para las zonas del Distrito, como respuesta a las necesidades de gestión en términos de división política, a pesar de considerar límites de microcuencas. Sin embargo, la conectividad y las zonas de resistencia se deben mirar desde un marco geográfico más amplio que responda de mejor forma a un modelo netamente biótico y no limitado por variables antrópicas, a pesar que la valoración de los criterios siempre fue pensado en términos funcionales de la fauna, en este caso requerimientos de hábitat de los mamíferos y características de la flora (Fandiño y Wyngaarden 2003, Magioli *et al.* 2015). Esto busca propiciar espacios que faciliten la toma de decisiones coordinadas entre las autoridades ambientales que

cuentan con áreas protegidas colindantes o que comparten las mismas dificultades u oportunidades de manejo, de forma que se logre mayor coherencia y efectividad en la gestión (Sguerra *et al.* 2011).

El rápido cambio y la severidad de las amenazas a la biodiversidad son tan fuertes especialmente en zonas como el Distrito Capital, que es urgente la necesidad de desarrollar lineamientos con base en criterios técnicos hacia la construcción de medidas efectivas para garantizar a largo plazo la protección de la biodiversidad. Aspectos como las ubicaciones más probables y las zonas en donde es más viable proponer acciones de conectividad, el tipo de especies que beneficiará y la forma de monitorear estos procesos, son los tipos de preguntas que deben buscar orientar estos modelos (Gurrutxaga 2004, Theobald 2006).

Conclusiones

El presente escrito se presenta como un modelo que permite visualizar una zonificación de las tres microcuencas evaluadas con el fin de priorizar áreas de conservación, restauración y aquellas que facilitan la conectividad entre las coberturas presentes en el diseño, planeación y monitoreo. El uso de diferentes criterios permite tener un panorama más amplio a la hora de tomar decisiones y en especial en el diseño de su implementación. Adicionalmente, el presente análisis es un insumo que complementa los diseños propuestos de áreas protegidas con base en la configuración y composición del paisaje en donde es posible identificar diferentes escenarios de conectividad modelados.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer la colaboración del equipo del Jardín Botánico de Bogotá, a las personas que apoyaron los levantamientos en campo y al equipo de la Subdirección Científica quien nos brindó sus comentarios y sugerencias en la mejora del trabajo y sus análisis.

Bibliografía

- Adriaensen, F., J. P. Chardon, G. de Blust, E. Swinnen, S. Villalba, H. Gulink y H. Matthinsen. 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* 64: 263-274.
- Aguilar-Garavito, M. y P. Isaacs. El análisis espacial en la restauración ecológica. 2014. Capítulo 2.5. Pp. 95-109. En: M. Cabrera y W. Ramírez (Eds.). Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Beier, P., D. R. Majka y W. D. Spencer. 2008. Forks in the road: choices in procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology* 22: 836-851.
- Bennett, A. F. 2006. Linkages in the landscape: role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 254 pp.
- Correa, C. 2008. Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. *Revista Pérez Arbelaezia* 12: 117-141.
- Doak, D. F. 1995. Source-sink models and the problem of habitat degradation: general models and applications to the Yellowstone Grizzly. *Conservation Biology* 96: 1370-1379.
- Emmons, L. 1990. Neotropical rainforest mammals: a field guide. University of Chicago. 396 pp.
- Fandiño, M. y W. Wyngaarden. 2003. Rol de la fauna en la selección de áreas de conservación biológica –base conceptual y metodológica-. Pp. 205-209 En: Polanco-Ochoa, R. (Ed.). Manejo de fauna silvestre en amazonía y Latinoamérica. Selección de trabajos V Congreso Internacional. CITES, Fundación Natura. Bogotá, Colombia.
- Forman, R. T. T. 1995. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 632 pp.
- Funambiente. Corporación Salvemos el Medio Ambiente. 2010. Formulación de lineamientos ambientales de conectividad de la operación estratégica Nuevo Usme como propuesta piloto en el sector de borde urbano rural. Informe Técnico. 215 pp.
- Goulart da Silva, L., M. C. Ribeiro, E. Hasui, C. Aparecida da Costa, R. Teixeira da Cunha. 2015. Patch size, functional isolation, visibility and matrix permeability influences neotropical primate occurrence within highly fragmented landscapes. *Plosone* 10: 1 – 20.
- Gurrutxaga San Vicente, M. 2004. Conectividad Ecológica del Territorio y Conservación de la Biodiversidad. Nuevas Perspectivas en Ecología del Paisaje y Ordenación Territorial. Gobierno Vasco. 85 pp.
- Hargrove, W. W., F. M. Hoffman y R. A. Efroymsen. 2004. A Practical Map-Analysis Tool for Detecting Potential Dispersal Corridors. *Landscape Ecology* 20: 361-373.
- Hodgson, J. A., C. D. Thomas, B. A. Wintle y A. Moilanen. 2009. Climate change, connectivity and conservation decision making: back to basics. *Journal of Applied Ecology* 46: 964-969.
- Isaacs, P. J. 2011. Definición de las alternativas de conectividad ecológica posibles desde el análisis físico, biótico y espacial de las áreas rurales priorizadas por la subdirección científica. informe técnico contrato 334/2011. Jardín Botánico de Bogotá Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 80 pp.
- Isaacs, P. J. y V. Jaimes. 2015. Análisis multitemporal de las coberturas del Distrito Capital años 1990 - 2012. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 65 pp.
- Jarro, C. 2005. Guía técnica para la restauración ecológica de áreas afectadas por la expansión agropecuaria en el Distrito Capital. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia. 155 pp.
- Jongman, R., M. Kulvik e I. Kristiansen. 2004. European ecological networks and greenways. *Landscape and Urban Planning* 68: 305-319.
- Lozano, F. 2014. Diseño de herramientas de manejo de paisaje como estrategia para la conservación y restauración en cuencas del departamento del Valle del Cauca. Informe técnico Convenio 13-166. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y CVC. 242 pp.
- Magioli, M., M. C. Ribeiro, K. M. P. M. B. Ferraz y M. G. Rodríguez. 2015. Thresholds in the relationship between functional diversity and patch size for mammals in the Brazilian Atlantic Forest. *Animal Conservation* 1-13.
- Majka, D., J. Jenness y P. Beier. 2009. CorridorDesigner: ArcGIS tools for designing and evaluating corridors. Available at <http://corridordesign.org>.
- McRae, B. H., B. G. Dickson, T. H. Keitt, y V. B. Shah. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology and conservation. *Ecology* 10: 2712-2724.
- Medici, P., P. Mangini y J. A. Sarria. 2007. Manual de medicina veterinaria de antas em campo. IUCN/SSC TAPIR SPECIALIST GROUP (TSG). Comitê de Veterinária. Informe técnico. 60 pp.
- Meffe, G. K. y C. R. Carroll. 1997. Principles of Conservation Biology. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates. 779 pp.
- Metzger, J. P. y P. Brancalion. 2013. Challenges and opportunities in applying a landscape ecology perspective

- in ecological restoration: a powerful approach to shape neolandscapes. *Natureza & Conservação* 11: 103-107.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. 2014. Plan Nacional de Restauración. Documento técnico. Consultado en línea Febrero 12 de 2015. 92 pp.
- Morales, M., J. Otero, T. Van der Hammen, A. Torre, C. Cadena, C. Pedraza, N. Rodríguez, C. Franco, J. C. Betancourth, E. Olaya, E. Posada y L. Cárdenas. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 pp.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forest implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10:58-62.
- Ng, S., J. W. Dole, R. M. Sauvajot, S. Riley y T. J. Valone. 2004. Use of highway undercrossings by wildlife in Southern California. *Biological Conservation* 115: 499 – 507.
- Noss, R. 1991. Landscape connectivity: Different functions at different scales. Capítulo 2. *En*: Hudson W. E. (Ed.). Landscape linkages and biodiversity. Defenders of Wildlife. Island Press. Washington D.C.
- Noss, R. y A. Y. Cooperrider. 1994. Saving Natures Legacy: Protecting and restoring biodiversity. Defender of Wildlife. Island Press. Washington D. C. 417 pp.
- Phillips, J. F y D. A. Navarrete. 2009. Análisis de fragmentación y conectividad. Informe Final. Unión Temporal Rastrojo a Escala Humana HINSAT. Secretaría de Ambiente. 130 pp.
- Primack, R. F. 2001. Problemas de las poblaciones pequeñas. Capítulo 11. *En*: Primack, R., R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo (Eds.). Fundamentos de conservación biológica. Perspectivas latinoamericanas. Fondo de cultura económica. México D.F.
- Remolina, F. 2007. Procesos de fragmentación en los Cerros Orientales de Bogotá. Informe final contrato de prestación de servicios No. 144 de 2006. Jardín Botánico de Bogotá.
- Remolina, F. 2011. Propuesta de estructura ecológica regional de la región capital y guía técnica para su declaración y consolidación. Contrato interadministrativo de ciencia y tecnología no. 1392 de 2009 entre la Universidad Distrital Francisco José De Caldas y la Secretaría Distrital De Ambiente. 121 pp.
- Sguerra, S., P. Bejarano, O. Rodríguez, J. Blanco, O. Jaramillo y G. Sanclemente. 2011. Corredor de conservación Chingaza – Sumapaz – Querrero. Resultados del diseño y lineamientos de acción. Conservación Internacional Colombia y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP. Bogotá, Colombia. 184 pp.
- Sieving, K. E., M. F. Willson y T. L. De Santo. 2000. Defining corridors functions for endemic birds in fragmented south-temperate rainforest. *Conservation Biology* 14: 1120-1132.
- Tambosi, L. R. y J. P. Metzger. 2013. A framework for setting local restoration priorities based on landscape context. *Natureza & Conservação* 11: 152-157.
- Tambosi L. R., A. C. Martensen, M. C. Ribeiro y J. P. Metzger. 2014. A framework to optimize biodiversity restoration efforts based on habitat amount and landscape connectivity. *Restoration Ecology* 22: 169-177.
- Taylor, P. D., L. Fahrig, K. Henein y G. Merriam. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.
- Taylor, P., L. Fahrig y K. With. 2006. Landscape connectivity: A return to basics. Pp. 29-43 *En*: Crooks K. R. y M. Sanjayan (Eds.). Connectivity Conservation. Maintaining connections for nature. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Tracey, J. A. 2006. Individual-based modeling as a tool for conserving connectivity. Pp. 343–368. *En*: Crooks, K. R. y M. Sanjayan (Eds.). Connectivity Conservation. Maintaining connections for nature. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Theobald, D. M. 2006. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. Pp. 416-443. *En*: Crooks K. R. y M. Sanjayan (Eds.). Connectivity conservation: Maintaining connections for nature. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Trujillo, L. 2012. Caracterización florística y estructural e identificación, distribución y espacialización de comunidades vegetales en las áreas priorizadas por el Jardín Botánico para la conservación en Bogotá D.C. y la región. Contrato 811. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Urban, D. y T. Keitt. 2001. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology* 82: 1205-1218.
- Vargas, W. y W. Ramírez. 2014. Lineamientos generales para la restauración del bosque seco tropical en Colombia. Capítulo 9. *En*: Pizano, C. y H. García (Eds.). El Bosque Seco Tropical en Colombia. Instituto de Investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. D.C.

Paola Johanna Isaacs-Cubides
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt,
Programa Gestión Territorial de la Biodiversidad,
Bogotá, Colombia
pisaacs@humboldt.org.co

Ledy N. Trujillo-Ortiz
Investigadora independiente,
Bogotá, Colombia
ledytrujillo@yahoo.es

Vilma Jaimes
Investigadora independiente,
Bogotá, Colombia
vjaimes.s@gmail.com

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

Citación del artículo: Isaac-Cubides, P. J., L. N. Trujillo y
V. Jaimes. 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 (Suplemento 1): 70-88. DOI: 10.21068/
c2017.v18s01a04

Recibido: 26 de agosto de 2014
Aprobado: 10 de enero de 2017