

PÉREZ ARBELAEZIA

Nº 19 - Diciembre de 2008

ISSN 0120-7717



Jardín Botánico de Bogotá
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ
1896 - 1972

Sacerdote - Investigador
Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

PÉREZ
ARBELAEZIA

Publicación del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, dedicada a la memoria de su fundador, el doctor *Enrique Pérez Arbeláez*, quien consagró su vida a institucionalizar la tradición científica de Colombia y a fomentar la investigación, divulgación y defensa de nuestros recursos naturales.



Mutisia clematis L.

Planta ornamental nativa seleccionada como emblema del Jardín Botánico de Bogotá. Debe su nombre a la exaltación que el ilustre botánico *Linneo* quiso hacer en homenaje a *José Celestino Mutis*.

Es una planta trepadora con zarcillos, hojas tomentosas en tonalidades verde grisáceo y flores casi siempre pedunculares, que con su color rojo vivo atraen insectos y colibríes.



Alcalde Mayor de Bogotá, D.C.
Samuel Moreno Rojas

Jardín Botánico de Bogotá «José Celestino Mutis».

Junta Directiva

Juan Antonio Nieto Escalante
Secretario Distrital de Ambiente

Carlos Ossa Escobar
Rector - Universidad Distrital
Francisco José de Caldas

Tomás León Sicard
Director - Instituto de Estudios Ambientales, IDEA. Universidad Nacional de Colombia

Germán Galindo Hernández
Fundación Humedal La Conejera

Ángel Guarnizo Vásquez
Coordinador Unidad de Turismo de Naturaleza – Instituto de Turismo de Bogotá

Eugenia Ponce de León Chaux
Directora General - Instituto Alexander von Humboldt

Comité Directivo

Herman Martínez Gómez
Director Jardín Botánico

Julio César Pulido Puerto
Secretario General (E)

Eduardo Villegas Flórez
Subdirector Científico

Frank Leonardo Hernández Ávila
Subdirector Educativo y Cultural

Federico de Jesús Bula Gutiérrez
Subdirector Técnico y Operativo

Hugo Alejandro Sánchez Hernández
Jefe Oficina Asesor Jurídico

Julio César Pulido Puerto
Jefe Oficina de Planeación

Francisco Bocanegra Polanía
Jefe Oficina de Arborización

Amparo Morales Amador
Jefe Oficina de Control Interno

PÉREZ ARBELAEZIA

Número 19 - Diciembre de 2008

Publicación Anual

PÉREZ ARBELAEZIA © 2008 - ISSN 0120-7717

La revista *Pérez Arbelaezia* es la publicación científica anual del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Está dirigida a investigadores, estudiantes, científicos y a todas las personas interesadas en los temas que esta aborda.

Publica artículos científicos originales e inéditos que desarrollan temas de botánica, biología de especies y ecología de ecosistemas altoandinos; a la vez, abre el espacio para la presentación de ensayos, reflexiones, revisiones y conferencias que aportan al conocimiento de dichas disciplinas, así como de otras áreas misionales de la entidad tales como la arborización urbana, la agricultura urbana y la educación ambiental.

Comité Editorial Jardín Botánico

La edición de las publicaciones del Jardín Botánico de Bogotá se realiza de manera participativa ascendente a través de Comités Operativos integrados por interlocutores válidos de cada subdirección y dependencia, la coordinación editorial, la firma editora externa y el nivel directivo de la entidad, que conforman el comité editorial.

En la planeación, compilación, coordinación y edición de esta revista participaron por parte del Comité Operativo Interno de la Subdirección Científica:

Johanna Katherine Bernal Sotelo
Vilma Isabel Jaimes Sánchez
Pamela Tatiana Zúñiga Upegui
Eduardo Villegas Flórez

Investigadora
Investigadora
Investigadora
Subdirector Científico

Comité Editorial Honorario

Santiago Madriñán Restrepo	Profesor. Departamento de Ciencias Biológicas Universidad de los Andes
Hernán Mauricio Romero	Profesor. Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia
Andrés Etter Rothlisberger	Profesor - Investigador Departamento de Biología y Territorio Universidad Javeriana

Director revista Pérez Arbelaeza

Eduardo Villegas Flórez

Subdirector Científico

Coordinación general editorial Jardín Botánico de Bogotá

José Celestino Mutis

Litta Buitrago Sandoval

Editora

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

Coordinación editorial

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

• Corrección de rigor científico:

Martha Yaneth Vallejo

Germán Ignacio Andrade Pérez

• Corrección de estilo:

Juan Carlos Gómez Amaya

• Diseño y diagramación:

Bibiana Andrea Alturo M.

Jovana Angélica Noguera V.

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia.

Ilustración carátula

Mutisia clematis L. Lámina Expedición Botánica.

La reproducción total o parcial de un artículo debe citar la fuente. Corresponde a los autores la total responsabilidad de las ideas, tesis y conceptos emitidos en sus respectivos artículos.

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. Calle 63 No. 68-95 / Teléfono: 437 7060 / Fax: 630 5075 www.jbb.gov.co



Grupo de Árbitros

Camilo Cárdenas	Docente – Investigador	Universidad Nacional de Colombia
Carlos A. Devia C.	Docente – Investigador	Departamento de Ecología Pontificia Universidad Javeriana
César Ruíz	Investigador	Conservación Internacional
Eduardo Behrentz	Director	Centro de estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional – Universidad de los Andes
Jeroen Pascal	Consultor	Internacional Royal Haskoning
Jorge Jácome	Profesor Asistente	Departamento de Biología Pontificia Universidad Javeriana
José Hipólito Isaza	Docente	Departamento de Química Universidad del Valle
José Ignacio Barrera	Coordinador	Escuela de Restauración Ecológica Pontificia Universidad Javeriana
Luis David Gómez	Coordinador	Prácticas Estudiantiles Pontificia Universidad Javeriana
María Soledad Hernández	Investigadora	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - Sinchi
Nancy Isabel Castillo	Docente - Investigadora	Laboratorio Agroambiente 2015
Luis Guillermo Baptiste	Subdirector	Instituto Alexander von Humboldt
Orlando Rangel	Docente – Investigador	Universidad Nacional de Colombia
Roxana Yockteng	Profesora asociada	Departamento Sistemático de Evolución Museo Nacional de Historia Natural
Willian Fernando Castrillón	Docente	Universidad Distrital Francisco José de Caldas

CONTENIDO

Presentación.....	10
Reflexiones en torno a la Educación Ambiental en Bogotá a partir de la implementación de Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA, en siete quebradas del Distrito Capital. Alexander Delgado/Luisa Galindo/Luz Marina Buitrago/Néstor Céspedes/Edna Margarita Vargas/Maritzá Suárez/Edwin Ussa	15
Aspectos ambientales y paleoambientales de los enclaves secos y el caso particular del valle del Checua (Nemocón, Colombia). Thomas van der Hammen.....	35
Modelo de distribución potencial de <i>Condalia thomasi</i> (Rhamnaceae), especie endémica del valle del río Checua, Sabana de Bogotá, Colombia. Catalina Giraldo P./Carolina Alcázar Caicedo.....	49
Ensayo experimental con microorganismos benéficos y su potencial uso en la implementación de los proyectos de restauración ecológica en el Distrito Capital. Claudia Cristina Rojas Marulanda.....	71
Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo. Sandra Pilar Cortés Sánchez.....	85
Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo. Camilo A. Correa Ayram.....	115
Eficacia de dos hongos entomopatógenos para el control de <i>Pseudococcus</i> spp. Raúl H. Posada Almanza/Lermen Forigua Acosta	141
Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. Diana C. Corzo Barragán.....	153

Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y aceites esenciales de las especies vegetales <i>Valeriana pilosa</i> , <i>Hesperomeles ferruginea</i> , <i>Myrcianthes rhopaloides</i> y <i>Passiflora manicata</i> frente a microorganismos patógenos.	
Andrea J. Lizcano Ramón/María E. Torres Cárcamo/Jenny L. Vergara González.....	163
Vegetación potencial en la cuenca media del río Tunjuelo y procesos de cambio en la cobertura vegetal, otro enfoque metodológico para un análisis multitemporal.	
Sandra Pilar Cortés Sánchez.....	189
Requerimientos de edición para la publicación de artículos en la revista.....	205

PRESENTACIÓN

Apreciado lector:

Desde 1985 la revista *Pérez Arbelaez* ha sido el medio a través del cual el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis presenta los resultados de las investigaciones realizadas por el equipo de científicos dedicados al conocimiento de los ecosistemas altoandinos y sus componentes, así como las de investigadores y entidades afines con el fin de aportar en el cumplimiento de los objetivos estratégicos institucionales.

En esta oportunidad, en cumplimiento a los objetivos «Fortalecer los cambios de actitud de la población frente a la valoración, uso y conservación de la flora» y «Aumentar las áreas donde se apliquen estrategias de conservación de la flora de bosque Andino y páramo» se publica el artículo resultado del convenio interadministrativo entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, sobre la aplicación de la metodología Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA, entendidos como *espacios dentro de un territorio compuesto por elementos geográficos, biológicos y sociales que interactúan con las dinámicas de producción económica*.

A través de los EVA se pretende realizar la identificación, caracterización, análisis, comprensión y transformación de las relaciones que se dan entre dichos elementos. Su aplicación tuvo lugar mediante plantaciones participativas y pedagógicas en algunos sectores urbanos y rurales de las quebradas Limas y sus afluentes, Zanjón de la Estrella, Trompetica, Chiguaza, Nutria, Morales, Bolonia y Santa Librada en la cuenca del río Tunjuelo.

En torno al objetivo «Aumentar las áreas donde se apliquen estrategias de conservación de la flora de bosque Andino y páramo» se presenta el artículo del doctor Thomas van der Hammen *Aspectos ambientales y palaeoambientales de los enclaves secos y el caso particular del valle del Checua, Nemocón, Colombia*, en el que hace una descripción detallada de la vegetación, el ambiente, los palaeodatos y los cambios climáticos y de vegetación de los enclaves xerofíticos y subxerofíticos para llegar al origen, especiación y adaptación del género *Condalia* en Nemocón, donde encontró, como él mismo dice «una especie arborecente nueva en la

Sabana de Bogotá, un género nuevo para Colombia y, hasta donde sabemos, endémica en la región de Checua».

En la misma área se llevó a cabo el estudio *Modelo de distribución potencial de Condalia thomasiensis (Rhamnaceae), especie endémica del valle del río Checua, Sabana de Bogotá, Colombia*, cuyas poblaciones están en peligro crítico de extinción especialmente por la fragmentación del único hábitat donde están presentes.

El objetivo de esta investigación fue explorar un modelo de distribución potencial para conocer patrones y relaciones existentes entre los datos de presencia conocida y las variables ambientales de sitio. Se encontró que la especie *Condalia thomasiensis* solo está distribuida en la zona media baja de valle del río Checua en los municipios de Nemocón y Suesca, en un área total de 78,6 km², entre los 2.600 y los 2.880 m. Por este motivo se plantean alternativas de conservación de esta especie endémica y de su área de permanencia actual.

Sobre el objetivo «Aumentar la calidad ambiental de los ecosistemas estratégicos y del paisaje de la ciudad» se presenta el artículo *Ensayo experimental con microorganismos benéficos con miras a implementar en modelos de restauración ecológica en el Distrito Capital*, que muestra los resultados obtenidos en la multiplicación con plantas trampa y reporta la presencia de esporas nativas de las especies *Lycianthes hyscioides* (gurrubo), *Dodonaea viscosa* (hayuelo) y *Persea mutisii* (aguacatillo) en tres estados de crecimiento.

El empleo de microorganismos para el mejoramiento de las calidades edáficas o para la biofertilización de plantas ha sido empleado en los últimos años como estrategia para mejorar los rendimientos o disminuir la cantidad de agroquímicos al suelo. Tras los resultados obtenidos se propone el empleo de microorganismos benéficos (micorrizas y rhizobium) para inocular las especies que el Jardín Botánico José Celestino Mutis emplea en modelos de restauración ecológica.

En cumplimiento al mismo objetivo se expone el trabajo *Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo*. A pesar de la fuerte transformación el 39,8 por ciento de este territorio aún presenta vegetación de tipo natural y seminatural correspondiente a las formaciones vegetales de las regiones de vida andina y paramuna. En este estudio

se presenta la caracterización de cuatro tipos fisionómicos de vegetación entre los que se cuentan pastizales subxerófitos, matorrales subxerófitos, vegetación de páramo y bosques ribereños, que corresponden a quince comunidades vegetales descritas con relación a su composición florística y estructura y se mencionan algunos aspectos ecológicos de los ecosistemas relacionados.

Así mismo se presenta el artículo *Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo*, en el cual se propone un modelo de conectividad estructural y funcional entre los fragmentos de vegetación natural que aún persisten. Los resultados demuestran que a nivel de paisaje el estado de conectividad estructural de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo está ampliamente influenciado por el dominio en general de la matriz antrópica.

De acuerdo con los resultados encontrados es evidente el bajo grado de conectividad estructural de las coberturas de bosque y matorral y, por el contrario, la vegetación riparia confirmó su propiedad de elemento conector del paisaje presentando un alto grado de conectividad espacial. Por medio de las rutas de mínimo costo se pudo confirmar la importancia de asegurar la conectividad por medio de la vegetación riparia y al mismo tiempo disminuir el grado de resistencia por parte de la matriz antrópica.

Adicionalmente se presenta el trabajo *Eficacia de dos hongos entomopatógenos para el control de Pseudococcus spp.* debido al complejo de insectos succionadores pertenecientes al género *Pseudococcus* (Hemiptera: Pseudococcidae) que afecta entre otras especies vegetales al caucho sabanero, *Ficus soatensis* Dugand, especie ampliamente empleada en la arborización urbana de Bogotá. Su asociación con el insecto llevó a evaluar mecanismos de control eficiente, poco contaminantes y con tiempos de residencia bajos por las condiciones de ambiente urbano.

Se evaluó la mortalidad ejercida por los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en formulación de polvo soluble en cinco concentraciones, más un testigo, bajo un diseño completamente aleatorizado sobre el complejo *Pseudococcus* spp. en condiciones de laboratorio.

Los tratamientos evaluados no mostraron efecto sobre la plaga, posiblemente por la especificidad de virulencia de las cepas o la formulación del producto;

el trabajo sugiere la evaluación de otras cepas y nuevas formulaciones para encontrar aislamientos eficaces.

Con relación al objetivo «Aumentar el conocimiento, la oferta, el uso y el aprovechamiento de especies vegetales presentes en los ecosistemas Andinos del Distrito Capital y la región» se realizaron investigaciones como *Análisis y selección del método más apropiado para eliminar las saponinas en dos variedades de Chenopodium quinoa* y *Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y aceites esenciales de las especies vegetales Valeriana pilosa, Hesperomeles ferruginea, Myrcianthes rhopaloides y Passiflora manicata frente a microorganismos patógenos*.

En el primero se analizó y seleccionó el método más apropiado para eliminar las saponinas de dos variedades amargas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), amarilla de maragani y sajama morada, según criterios de costo beneficio, con el fin de incentivar la propagación, el uso y el manejo de la especie en la región debido a sus características.

Este estudio permitirá a los productores primarios hacer la desaponificación con un método económico y favorable con el ambiente. Los métodos de desaponificación valorados fueron: por vía húmeda, combinado, químico, seco y termomecánico; el mejor resultado se obtuvo con el método combinado, porque se logró eliminar el 75 por ciento de las saponinas.

En el segundo, y mediante la técnica de difusión de disco en agar de Kirby-Bauer, se midió la susceptibilidad *in vitro* de los microorganismos patógenos seleccionados frente a sustancias de origen natural con potencial antimicrobiano. En este trabajo se concluyó que el extracto etanólico de *Passiflora manicata* fue el que presentó mayor acción frente a todos los microorganismos, permitiendo realizar el fraccionamiento con los diferentes solventes identificando a la fase acuosa como la responsable del principio activo con potencial antimicrobiano.

Este trabajo recomienda darle continuidad a futuras investigaciones en torno a la potencialidad antimicrobiana de las especies seleccionadas, para lo cual es necesario aislar y elucidar la molécula capaz de inhibir a los microorganismos tratados.

El artículo *Vegetación potencial en la cuenca media del río Tunjuelo y procesos de cambio en la cobertura vegetal, otro enfoque metodológico para un análisis multitemporal* presenta los

resultados obtenidos tras la interpretación de los procesos de cambio ocurridos en la vegetación a partir de la comparación entre el modelo de vegetación potencial, como escenario ecosistémico original, y el mapa de cobertura vegetal actual, con lo cual se logró establecer que el 54 por ciento de los ecosistemas naturales del área de estudio han sido transformados, mientras que apenas un 24 por ciento se encuentra con ecosistemas que abarcan comunidades vegetales de bosque, páramo, vegetación riparia, matorrales y herbazales subxerófitos en conservación, los cuales son importantes para sostener la biodiversidad local y regional.

Los resultados de estas investigaciones sin duda aportan al conocimiento sobre los ecosistemas altoandinos y son muy importantes para garantizar la sostenibilidad de los servicios ambientales de la ciudad. Esperamos que contribuyan al desarrollo sostenible de nuestra región y aporten beneficios a la comunidad en general.



Herman Martínez Gómez

Jardín Botánico de Bogotá

José Celestino Mutis

Director

Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo

Por

CAMILO A. CORREA AYRAM¹

Recibido: 02 de febrero de 2009 / Aceptado: 24 de noviembre de 2009

Resumen

En este estudio se realiza un análisis del estado actual de la conectividad estructural de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo. Igualmente se complementa el análisis por medio de una aproximación al estudio de la conectividad funcional. Se tomó como insumo base el mapa de cobertura vegetal, al cual se le aplicaron índices de conectividad a nivel de paisaje y clase. Así mismo se calcularon rutas de mínimo costo por medio de un mapa de permeabilidad elaborado con base en el cálculo del grado de resistencia de la matriz del paisaje y de un modelo de distancia costo. A nivel de paisaje el estado de conectividad estructural de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo está ampliamente influenciado por el dominio en general de la matriz antrópica. Fue evidente el bajo grado de conectividad estructural de las coberturas de bosque y matorral; por el contrario, la vegetación riparia confirmó su propiedad de elemento conector del paisaje presentando un alto grado de conectividad espacial. Por medio de las rutas de mínimo costo se pudo afirmar la importancia de asegurar la conectividad por medio de la vegetación riparia y al mismo tiempo disminuir el grado de resistencia por parte de la matriz antrópica.

Palabras clave

Cuenca media del río Tunjuelo, cobertura vegetal, conectividad estructural, conectividad funcional, matriz antrópica, distancia costo, rutas de mínimo costo.

1. Ecólogo. Línea de investigación para la conservación *in situ* de ecosistemas, comunidades y especies importantes de la flora del D.C. y la Región. Subdirección Científica. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia
camilo_ayram@yahoo.com

An analysis of the current state of the vegetation cover connectivity in the Tunjuelo middle river basin

Abstract

The study analyzed the structural connectivity of the vegetation cover at the Tunjuelo middle river basin. Additionally, an approximation to the functional connectivity was also included into the analysis. The vegetation cover map was used as a «base map» on which connectivity indexes at landscape and class level were applied. Similarly, minimum cost paths were measured through a permeability map elaborated by calculating the level of resistance of the landscape matrix and by a cost distance model. At the landscape level the structural connectivity of the vegetation cover at the study area is highly influenced by the anthropic matrix. Furthermore, the low level of the structural connectivity of the forest cover and scrubland was evident. Conversely, it was confirmed the capacity of the riparian vegetation to link the spatial connectivity. Through minimum cost paths it was reinforced the importance to assure the connectivity by riparian vegetation and at the same time to diminish the level of resistance of the anthropic matrix.

Key words

Tunjuelo middle river basin, vegetation cover, structural connectivity, functional connectivity, anthropic matrix, cost distance, minimum cost path.

INTRODUCCIÓN

El estudio que se presenta se desarrolló en el marco del enfoque de la ecología del paisaje. El ámbito del mismo se circunscribe a la cuenca media del río Tunjuelo que abarca el sector sur de los Cerros Orientales de Bogotá, área ecológicamente estratégica tanto desde el punto de vista regional como local.

A través del tiempo los procesos de intervención antrópica en las áreas rurales del Distrito Capital han configurado un paisaje heterogéneo donde interactúan coberturas vegetales naturales inmersas en una matriz predominantemente agrícola. En parte, esta heterogeneidad se caracteriza por la presencia de parches naturales y seminaturales que poseen diferentes grados de aislamiento espacial que generan efectos negativos en el funcionamiento ecológico territorial.

Según Gurrutxaga (2004) los estudios de la conectividad del paisaje son relevantes en la ordenación del territorio y la planificación del paisaje ya

que analizan las implicaciones de las acciones humanas sobre la integridad ecológica del territorio. La conectividad es objeto prioritario de diagnóstico desde la ecología del paisaje, que estudia los patrones presentes en él y su relación con los procesos ecológicos. En este contexto la conectividad depende de las características del mosaico territorial (conectividad espacial o estructural) (Taylor *et al* 2006) como de los aspectos ecológicos y de movilidad de las especies (conectividad funcional) (Naveh *et al* 2001; Taylor *et al* 2006). Así mismo la ecología del paisaje proporciona un marco amplio para estudiar la función ecológica de fragmentos de hábitat en ambientes que han sido afectados por procesos antrópicos y los beneficios de la conectividad (Bennet 1999).

Según Gurrutxaga (2004) el estudio de la conectividad estructural es similar al de la fragmentación (Tischendorf y Fahrig 2000; Lindenmayer y Fischer 2006), porque se basan en medidas espaciales como superficie, forma de los parches y distancia media entre ellos (McGarigal y Marks 1995; Tischendorf y Fahrig 2000; Moilanen y Nieminen 2002), en cambio el estudio de los modelos de conectividad ecológica incorpora aspectos del comportamiento de los organismos en el paisaje. De este modo las métricas estructurales son complementadas mediante parámetros funcionales como distancias de costo y medidas de resistencia (Marull y Marallach 2002; Adriaensen *et al* 2006), también denominados distancia efectiva o distancia funcional (Moreno 2006). Estos modelos representan el esfuerzo o la dificultad que supone para un organismo alcanzar cada punto del territorio desde los puntos de origen, calculando las rutas de mínimo costo de desplazamiento (Moreno 2006) entre los parches de origen natural y seminatural con base en las características de movilidad de una especie «tipo»; de esta forma se convierte en una herramienta para el diseño y planificación de corredores (Gurrutxaga 2004).

La conectividad estructural es considerada como un atributo que puede ser usado para describir patrones de cobertura vegetal en un paisaje determinado; así mismo existe una amplia variedad de índices que son usados para su caracterización (O'Neill *et al* 1988; Fortín *et al* 2002; Lindenmayer y Fischer 2006), incluyendo los que cuantifican la conectividad del paisaje y que se pueden calcular con un sistema de información geográfico, SIG (Taylor *et al* 2006).



Según Botequilha *et al* (2006) la estructura del paisaje puede ser analizada en cuatro niveles —píxel, parche, clase, paisaje— dependiendo del énfasis y la escala de trabajo. En este caso la conectividad ha sido estudiada en los niveles de paisaje y de clase o tipo de cobertura, así:

Nivel de clase: una clase es un grupo de parches de un mismo tipo (tipo de cobertura bosque, matorral, etcétera). Las métricas a nivel de clase cuantifican las características de un tipo de cobertura como área, tamaño promedio de parches, grado de agregación, etcétera. Los resultados son valores únicos para cada tipo de cobertura.

Nivel de paisaje: un paisaje se resume como el conjunto de todos los parches dentro de un área de interés. Las métricas a este nivel caracterizan la totalidad del mosaico de parches como la diversidad de tipos de cobertura y el contagio. Los resultados son valores únicos para todo el paisaje.

Forman (1995) define a la matriz del paisaje como el tipo de cobertura dominante caracterizado por su influencia y control sobre las dinámicas del mismo. La matriz juega un papel crucial en las interacciones que se producen entre los distintos parches de hábitat. En este sentido, además de las mediciones de la conectividad estructural, es necesario tener en cuenta la influencia de la matriz sobre la conectividad del paisaje.

Las características y la configuración espacial de la matriz son factores determinantes en la conectividad funcional del entorno, así como en el mantenimiento de las metapoblaciones, por lo que es necesario incorporar en el análisis del paisaje modelos de evaluación del papel de la matriz frente a la conectividad (Gurrutxaga 2004). Lo anterior, teniendo en cuenta que las diferentes actividades presentes en el territorio inciden sobre la movilidad de los organismos y sobre los demás flujos ecológicos al dificultar o facilitar, en diferente grado, la movilidad de los organismos.

Diversos estudios de conectividad funcional han incorporado características generales de especies de fauna nombradas como especies «tipo» para definir los parámetros de los modelos de conectividad (Sastre *et al* 2002; Gurrutxaga 2003). El objetivo general de este estudio es analizar el estado de la conectividad estructural actual de las coberturas vegetales presentes en la cuenca media del río Tunjuelo, que también abarca el sector sur de los Cerros Orientales de Bogotá.

La metodología se enfocó en el análisis de la conectividad espacial, que busca medir el grado de continuidad o adyacencia entre los parches que conforman el paisaje y en el análisis preliminar de la conectividad funcional, mediante la incorporación de otros aspectos como el grado de permeabilidad del paisaje y la influencia de la matriz en el grado de conectividad de las coberturas vegetales (Marull y Mallarach 2005).

METODOLOGÍA

El presente estudio se llevó a cabo en dos fases: fase preliminar y fase de resultados y análisis. En la Figura 1 se presenta el esquema metodológico utilizado.

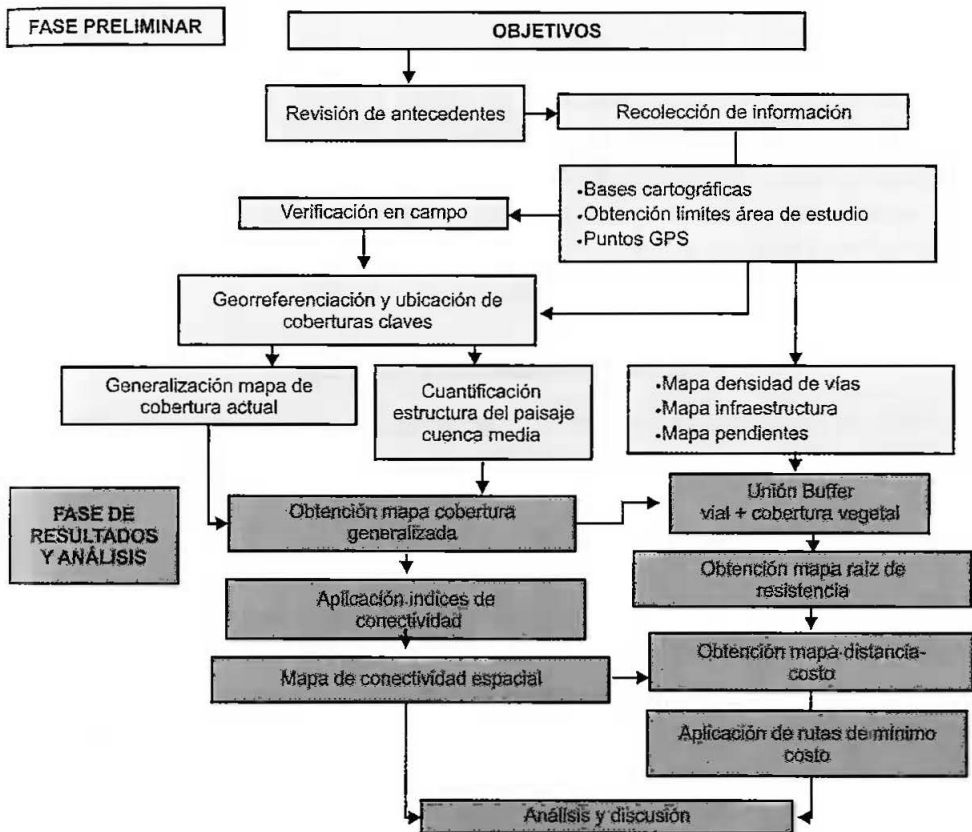


Figura 1. Esquema del proceso metodológico.

FASE PRELIMINAR

Para la elaboración de los mapas de conectividad espacial y de resistencia se utilizó como insumo la cartografía base referente a hidrografía, vías, curvas de nivel y límites de la subcuenca.

Se georreferenciaron parches claves de vegetación para posteriormente aplicar los índices de conectividad espacial y construir los modelos de rutas óptimas. Igualmente se realizaron conversaciones abiertas con los fontaneros de los acueductos con el fin de recopilar información acerca de la fauna del sector.

Generalización del mapa de cobertura vegetal actual y cuantificación preliminar de la estructura del paisaje.

Con el fin de elaborar el mapa de resistencia del paisaje a la conectividad se excluyeron y fusionaron las unidades de origen artificial que hacen parte de la matriz antrópica —misceláneas de cultivos y pastizales—, lo que dio como resultado el mapa generalizado de cobertura vegetal al cual se le aplicaron índices espaciales básicos tales como área, número y tamaño promedio de parches así como su porcentaje de cobertura con el fin de cuantificar preliminarmente la estructura del paisaje del área de estudio.

FASE DE RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con el fin de cuantificar la conectividad estructural de las coberturas resultantes se emplearon índices de paisaje específicos.

El mapa de cobertura vegetal del área de estudio se filtró en dos escenarios: el primero con la matriz antrópica y la vegetación natural y seminatural —incluyendo la vegetación riparia— y el segundo sobre la misma base, pero simulando un paisaje sin vegetación riparia con el fin de aplicar los índices y compararlos para determinar y demostrar la importancia de los elementos conectores del paisaje con miras a su restauración y conservación.

En la Tabla 1 se resumen los conceptos y descripciones de cada una de las métricas aplicadas a nivel de «paisaje» y «clase».

NIVEL	ÍNDICE	FÓRMULA	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Paisaje	Contagio	$CONTAG = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{p_i}{n_i} \right) \left(\frac{p_j}{n_j} \right) \left(\frac{d_{ij}}{2n(n-1)} \right)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \right) \left(\frac{\sum_{j=1}^n p_j}{n} \right)} (100)$	Cuantifica el grado en el cual las coberturas producen tipos de distribución agrupada o dispersa, refiriéndose a la tendencia de agregación espacial que tienen los tipos de cobertura en el paisaje.	Grado de agregación de los patrones del paisaje mediante el cálculo del número de adyacencias de los tipos de cobertura que lo conforman. Contagio describe la diversidad de bordes compartidos entre diferentes tipos de cobertura.
Paisaje	Conectividad	$CONNECT = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i (n_i - 1)}{2} \right)} (100)$	Grado de conexión física entre los parches que conforman un paisaje, siendo un indicador directo de conectividad espacial.	El índice de conectancia es definido por el número de enlaces funcionales entre parches del mismo tipo, donde cada parche esta conectado o no basado en un criterio de distancia.
Paisaje	Cohesión	$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{i=1}^n p_i \sqrt{p_i}} \right] \left[1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right] (100)$	Mide la conectividad física del paisaje y es muy sensible al grado de agregación y a la dominancia de las coberturas que conforman un paisaje determinado.	Se calcula en un rango de 0 a 100 y se incrementa a medida que la agregación y la agrupación de las coberturas aumentan. El comportamiento de este índice a nivel de paisaje no ha sido evaluado.
Clase	Distancia media al vecino más cercano	(C36) Mean Nearest-Neighbor Distance Raster $MNN = \frac{\sum_{i=1}^n h_{ij}}{n_i}$	Es igual a la suma de la distancia al parche más cercano del mismo tipo, basado en la cercanía, borde a borde, de cada polígono, dividido por el número de parches del mismo tipo.	A nivel de clase es muy utilizado para caracterizar la distribución espacial de los diferentes tipos de cobertura y que usa como variable principal la cercanía media entre los parches que conforman un mismo tipo de cobertura.

NIVEL	ÍNDICE	FÓRMULA	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Clase	Proximidad media	(C39) Mean Proximity Index Rasteez $MPI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{jss}}{n_{js}^2}}{n_i}$	Caracteriza el grado de aislamiento espacial de los parches, pero en contraste con la distancia al vecino más cercano. Toma en cuenta todos los parches más próximos que se encuentran dentro de un radio de búsqueda especificado.	Altos valores de proximidad indican que parches vecinos del mismo tipo de cobertura están menos aislados, grandes y agregados. Bajos valores indican que los parches se encuentran aislados y pueden tener tamaños pequeños. Los resultados con base en el índice de proximidad se definieron utilizando distintos radios de búsqueda dentro de los siguientes rangos: 100 m, 500 m, 1000 m y 2000 m.

Tabla 1. Índices aplicados. Basado en Botequilha *et al* (2006).

Obtención del mapa de resistencia de las coberturas a la conectividad funcional del paisaje.

Se elaboró un mapa de resistencia de las coberturas al desplazamiento de la fauna terrestre a partir de la identificación de una especie «tipo» con base en la evaluación general tanto de la información bibliográfica como de la suministrada en las salidas de campo por los fontaneros de los acueductos veredales. Esta información provee un esbozo de las especies de mamíferos terrestres que se pueden encontrar en la zona, así como de sus características ecológicas que pueden ser aplicadas al modelo.

Aunque cada especie encontrada en esta área tiene su propio requerimiento ecológico y capacidad de dispersión es útil tener en cuenta una especie «tipo» que ayude a modelar la conectividad de acuerdo con sus características generales de movilidad y con la resistencia que le ofrece la matriz del paisaje.

En la Tabla 2 se presentan las características que se asume puede presentar la especie «tipo» y que son los condicionantes para la elaboración del mapa de resistencia a la movilidad.

El modelo de resistencia asume que:

	Descriptor
Especie «tipo»	• La mayor movilidad de la especie se da entre parches de vegetación natural y seminatural. • Utiliza la vegetación riparia para conectarse entre los parches de bosque o matorral. • Evita movilizarse a los parches de bosque y matorral entre cultivos y pastos manejados. • Las vías actúan como barrera y aumenta el grado de resistencia según su categoría. • Las coberturas vegetales exóticas no son barrera para la movilidad aunque presentan resistencia alta. • No se moviliza a través de cuerpos de agua. • Puede movilizarse entre coberturas naturales y seminaturales de tipo herbáceo aunque sus parches «objetivo» son de tipo forestal. • Las coberturas no vegetales artificiales ofrecen alta resistencia a su movilidad. • Las coberturas de porte herbáceo a medida que se acercan a la matriz urbana le ofrecen mayor resistencia.

Tabla 2. Condicionantes de movilidad para la especie «tipo».

Posteriormente al mapa de cobertura generalizado se le asignaron los valores de resistencia considerando el grado de dificultad, fricción o impedimento que ofrece cada una de las coberturas al desplazamiento de la fauna hipotética entre los parches de hábitat (Gurrutxaga 2004). De esta forma se representó espacialmente el grado de «permeabilidad» de la matriz de paisaje. Finalmente se elaboró un mapa de resistencia con base en el de categorías viales; este se cruzó con el de resistencia de las coberturas y se obtuvo uno de resistencia acumulada.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Conectividad estructural en el nivel de paisaje

El estado de conectividad estructural de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo está ampliamente influenciado por el dominio en general de la matriz antrópica. Las coberturas vegetales naturales y seminaturales integran una estructura ecológica en forma de red, donde el eje central es la cobertura vegetal asociada con el río Tunjuelo; a ese nodo se unen sus afluentes, que por medio de la vegetación riparia conectan los relictos boscosos de los

costados laterales de la cuenca que, a su vez, se encuentran ligados a las áreas de influencia de los acueductos veredales que ofrecen conectividad en las partes más altas y alejadas de la matriz.

Los niveles de conectividad estructural de la cuenca también se encuentran ligados al gradiente de proximidad del área urbana; es claro que la cobertura vegetal natural y seminatural a medida que se encuentra más cercana a esta área aumenta la probabilidad de aislamiento, con excepción de los pajonales subxerofíticos que presentan espacialmente un alto grado de conectividad y están relativamente cerca al área urbana.

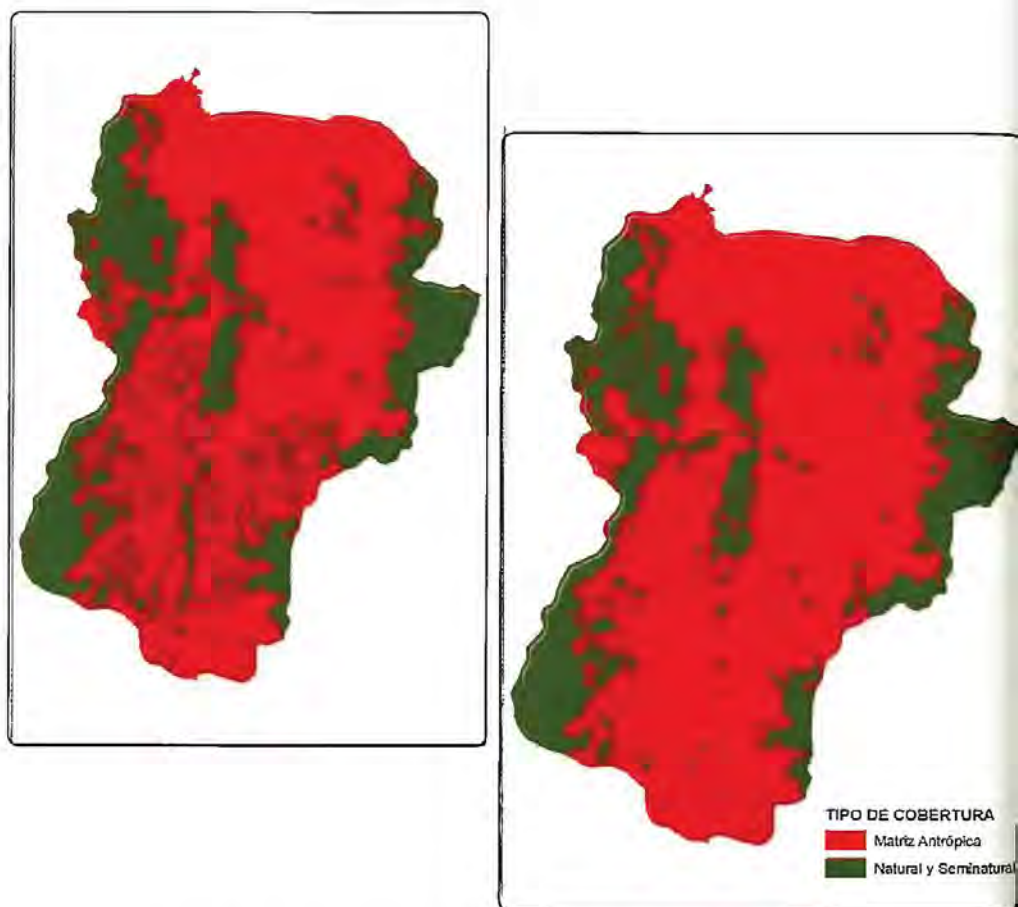


Figura 2. Mapa que simula la transformación de la vegetación riparia a coberturas de origen antrópico en la cuenca media del río Tunjuelo.

Por el contrario, hacia el sur de la cuenca media, alejándose del asentamiento urbano hacia las veredas de Pasquilla y Pasquillita en la localidad de Ciudad Bolívar y de Olarte y la Regadera en Usme, se encuentran niveles altos de conectividad determinados por un paisaje rural interconectado por vegetación riparia, que así mismo interconecta los relictos más grandes de vegetación boscosa y donde la vegetación de páramo reúne a la mayoría de acueductos veredales que proveen de agua a los pobladores de la región.

El estado de conectividad estructural del paisaje se cuantificó con base en el mapa actual y uno simulado sin vegetación riparia (Figura 2).

El índice de contagio resume el estado de agregación del paisaje, dominado por una matriz antrópica que deja ver la relación de esta con respecto a las demás coberturas. Según muestran los resultados este comportamiento se da por un proceso de agregación de las coberturas antrópicas causando un efecto de aislamiento en las coberturas naturales, las cuales se mantenían conectadas en cierto grado por la vegetación riparia. Cuando estas conexiones se pierden los enlaces funcionales de la cobertura antrópica aumentan incrementando el índice de contagio; a medida que las coberturas naturales y seminaturales decrecen los enlaces se hacen cada vez más representativos influyendo en el comportamiento del índice; por el contrario, el índice decrece si los enlaces funcionales de las coberturas naturales se incrementan; por ejemplo, por la conformación de corredores riparios.

Índices en el nivel de paisaje	Con vegetación riparia	Sin vegetación riparia
Contagio	70,5449	74,5462
Conectancia	1,4982	13,8179
Cohesión	99,7322	99,8488

Tabla 3. Resultados de los índices de conectividad en el nivel de paisaje.

En cuanto al índice de conectancia (Tabla 3) se puede decir que presenta un comportamiento muy parecido al de contagio. El grado de conectancia puede interpretarse de diferentes formas: cuando tiende a 0 o posee valores muy bajos representa un paisaje dominado por una cobertura o un paisaje en el que los parches se encuentran muy poco conectados. Tiende a incrementarse cuando aumenta el grado de conectividad y la dominancia de una cobertura.

Tanto el índice de conectancia como el de contagio reportan un estado actual del paisaje dominado por la cobertura antrópica, donde las coberturas naturales y seminaturales se encuentran bastante desconectadas. Al calcular el índice para el mapa sin vegetación riparia (Tabla 3) se observa un considerable incremento del índice de conectancia y de contagio, que pueden estar dados por el aumento en el grado de la conectividad de las áreas intervenidas, es decir, en la dominancia de la matriz antrópica y en el decrecimiento de las coberturas naturales. De todos modos estos índices suelen ser más comparativos a nivel de tipo de cobertura.

Como en los anteriores índices los resultados muestran que el estado actual de la conectividad a nivel del paisaje se rige por la dominancia y en este caso por el nivel de agregación y de agrupación de la matriz antrópica, cuando el paisaje pierde los elementos conectores tiende a agruparse y así mismo a agregarse, incrementando el valor del índice que es notablemente alto (Tabla 3) si se tiene en cuenta que se calcula dentro de un rango de 0 a 100.

Conectividad estructural en el nivel de clase (tipo de cobertura)

El índice de distancia media al vecino más cercano es uno de los más utilizados para referenciar el estado de cercanía entre parches y, en el nivel de clase, entre tipos de cobertura. Con base en los resultados de este índice (Figura 3) el grado de conectividad de las coberturas pudo ser agrupado en tres grandes grupos: coberturas con conectividad alta, media y baja. Vale la pena resaltar que la distribución de la conectividad estructural fue mapeada de acuerdo con los resultados arrojados por este índice pero a nivel de parche, alimentando el atributo de cada polígono con el resultado de la distancia media al parche del mismo tipo de cobertura más cercano.

Las coberturas con elevados niveles de conectividad presentan valores bajos de distancia media. El grado más alto de conectividad está representado por el pajonal subxerofítico, el cual se agrupa al noroccidente de la cuenca en muy pocos parches, muy cercanos entre ellos, pero también muy intervenidos por la cercanía al asentamiento urbano; le sigue la matriz antrópica, que presenta una conectividad también elevada por su alto nivel de agregación y con algunos parches distanciados en el área rural; por esta razón no presenta la conectividad mas alta. Le sigue la vegetación riparia, que es el elemento del paisaje que cumple la función de conector entre los parches naturales.

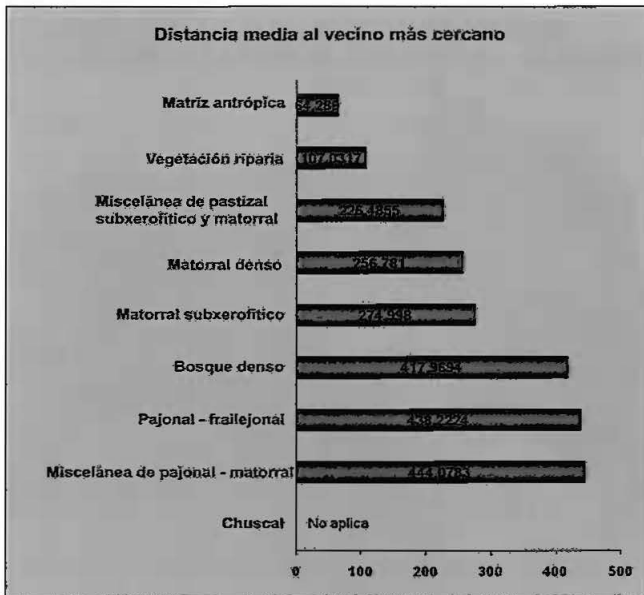


Figura 3. Valores de distancia media al vecino más cercano.

Con niveles medios de conectividad se encuentran los matorrales densos y los matorrales subxerofíticos. Estos resultados pueden mostrar una agrupación hacia ciertos sectores de la cuenca, relacionados con distancias amplias entre los grupos (Figura 4). Las coberturas con niveles bajos de conectividad están representadas por los bosques densos, los cuales evidencian un alto grado de aislamiento influenciado por poco número de parches bastante aislados y distribuidos en pocos relictos dispersos.

En la vegetación de páramo como el pajonal frailejonal y las misceláneas de matorrales y pajonales, a pesar de que geográficamente se encuentran agrupadas formando parches de gran tamaño su índice de conectividad es muy bajo debido a la amplia distancia que existe entre la localización de sus parches —áreas de páramo de Ciudad Bolívar y Usme—. Cuando el análisis se hace a nivel de parches el resultado es un nivel de conectividad alto (Figura 4).

En cuanto al índice de proximidad, a diferencia del índice de distancia media, se toma como base el tamaño del parche para escoger uno focal y un radio de búsqueda, el cual puede ser detallado o general. En este caso se tuvieron en cuenta radios de búsqueda de 100 m, 500 m, 1.000 m y 2.000 m. En la Tabla 4 se exponen los resultados de forma comparativa entre los distintos radios de búsqueda aplicados para este índice.

**RANGOS DE CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL
CON BASE EN LA DISTANCIA MEDIA AL VECINO MAS CERCANO**

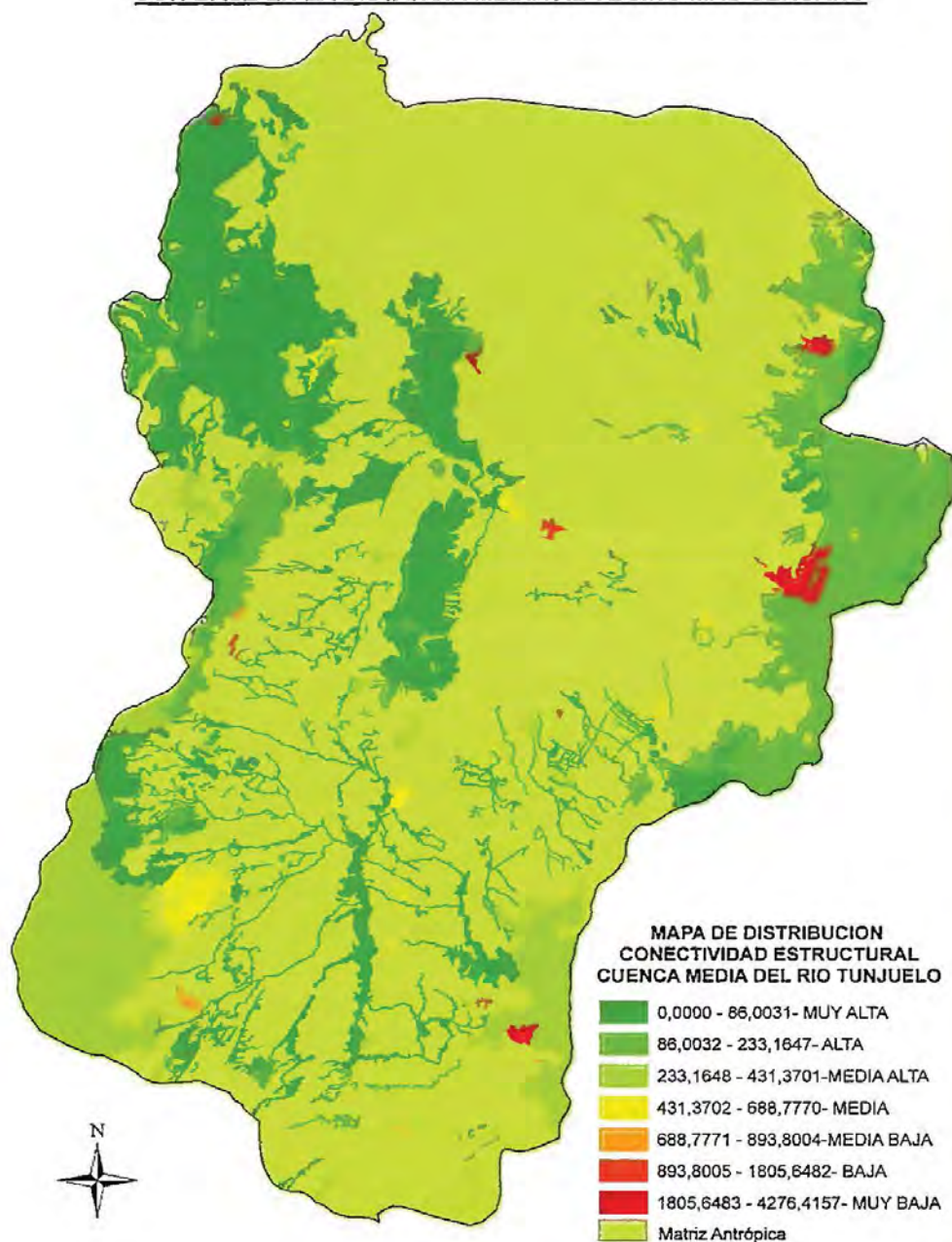


Figura 4. Mapa de conectividad estructural con base en los valores de distancia media al vecino más cercano.

Índice de proximidad	Radio 100 m	Radio 500 m	Radio 1000 m	Radio 2000 m
Matriz antrópica	64212.2366	64647.5312	64667.6271	64678.148
Pajonal subxerofítico	2043.7029	2089.7805	2091.5805	2092.6992
Vegetación riparia	223.8658	237.7236	238.5112	239.0992
Miscelánea de pajonal				
matorral	92.6005	121.9047	122.0732	122.271
Pajonal frailejonal	75.4449	96.8255	99.1072	99.4733
Miscelánea de pastizal				
subxerofítico y matorral	57.1921	59.5933	59.9499	60.1495
Matorral denso	31.3691	34.1144	34.6353	34.9269
Bosque denso	5.4826	8.235	8.4366	8.6065
Matorral subxerofítico	0.9169	1.7802	1.8846	1.9639
Chuscal	0	0	0	0

Tabla 4. Resultados del índice de proximidad teniendo en cuenta distintos radios de búsqueda.

La matriz antrópica presenta un índice de proximidad cuyos valores llegan a ser hasta 30 veces más altos en comparación con las demás coberturas (Tabla 4). Este comportamiento está dado por el tamaño y por el bajo grado de aislamiento que presenta. Hay que notar que el índice de proximidad se incrementa a medida que el rango de búsqueda se hace más amplio, esto es, debido a que aumenta el radio lo que incrementa la probabilidad de encontrar elementos del mismo tipo de cobertura.

Con diferencia a la matriz antrópica las coberturas como bosques y matorrales presentan valores muy bajos de proximidad evidenciando una baja conectividad estructural y un amplio aislamiento, además de tamaños promedio relativamente pequeños. Por el contrario, la vegetación riparia presenta una evidente proximidad mayor a las demás coberturas debido a la forma de sus parches y a su carácter conector del paisaje. Las coberturas de vegetación de páramo presentan valores medios de proximidad; se observa que el índice se incrementa notablemente al aumentar el radio de búsqueda entre 100 m y 500 m por la presencia de vecinos próximos dentro de ese rango.

En cuanto al índice de conectancia a nivel de clase fue aplicado excluyendo la matriz antrópica para que de esta forma el tamaño y la agregación de la misma no afectara los resultados, que se presentan en la Figura 5.

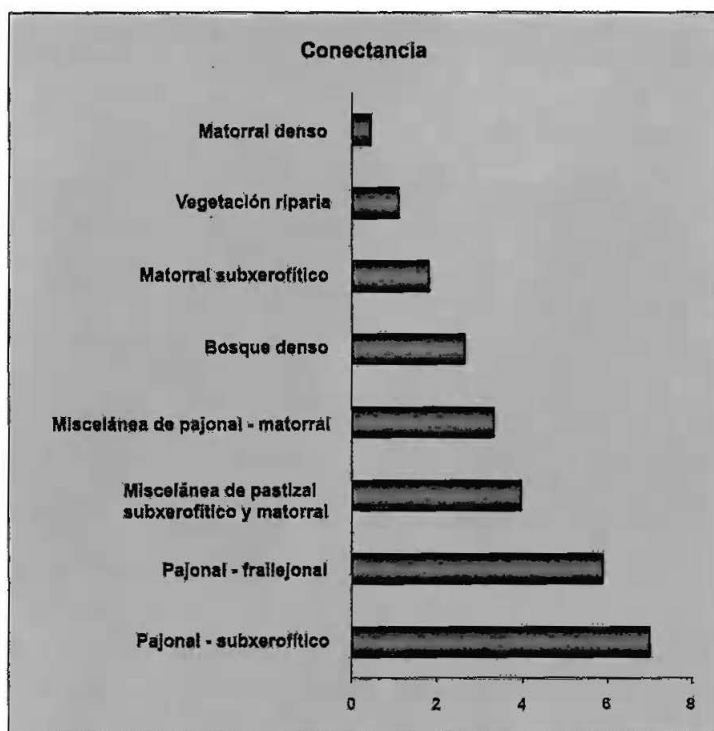


Figura 5. Índice de conectancia a nivel de clase.

Este índice se basa en enlaces funcionales más que en distancias euclidianas. El grado de conectividad estructural aumenta a medida que los enlaces funcionales de las coberturas también lo hacen. Se observó que el matorral denso tiene un muy bajo índice de conectancia lo que demuestra que esta cobertura tiene muy poco o nada de contacto funcional con las mismas de su tipo. Lo mismo sucede con la vegetación riparia en la que, a pesar de que se conecta espacialmente, el número de enlaces es muy bajo debido a su forma alargada.

Así mismo los bosques densos presentan un índice de conectancia bajo dada la amplia distancia entre sus parches pero con una probabilidad mayor de conectarse con los de su misma cobertura. A diferencia de los resultados obtenidos con el índice de distancia media, el pajonal frailejonal presenta un mayor grado de conectancia en comparación con las demás coberturas debido a que el nivel de agrupación está dividido en sectores lo que hace que este nivel se incremente. Cabe anotar que además se tienen en cuenta los enlaces funcionales de los parches focales.

Aproximación al estudio de conectividad funcional de la cuenca media del río Tunjuelo

Según las conversaciones informales con la comunidad que habita el área de influencia de los acueductos veredales se estableció que han sido observados los siguientes mamíferos terrestres: zorro perruno (*Cerdocyon thous*), guache (*Nasua olivacea*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*) y chucha (*Didelphys* sp.); con base en esta información, en el mapa de resistencia acumulado y en las características de movilidad de la especie «tipo» —posteriormente incorporadas al modelo costo distancia— se obtuvieron las rutas de mínimo costo de desplazamiento de esta entre los parches de bosque de la cuenca media.

De acuerdo con el mapa de resistencia en el paisaje predominan los niveles altos y muy altos, caracterizados por la matriz antrópica, compuesta principalmente por los asentamientos urbanos y las misceláneas de cultivos y pastizales. Niveles medios de resistencia predominan en el sector noroccidental donde están presentes las coberturas de tipo subxerofítico. En los costados laterales, tanto orientales como occidentales, predominan los niveles de resistencia bajos y muy bajos donde se ubica la mayoría de las coberturas naturales y seminaturales como los pajonales frailejonales, matorrales y bosques. Al centro también se observan niveles bajos de resistencia relacionados con la vegetación riparia asociada al río Tunjuelo y a sus afluentes.

Tomando como base los fragmentos de bosque como parches de interés y el mapa de resistencia como una superficie de costo, fue posible calcular la relación costo distancia para el desplazamiento de la especie «tipo» entre los parches de bosque. El mapa de permeabilidad (Figura 6) se ve afectado por la matriz antrópica que posee una amplia extensión y una alta resistencia a la movilidad de la especie «tipo». El mapa también está influenciado por la proximidad del parche urbano que disminuye el nivel de permeabilidad para los sectores que circundan dicha cobertura.

Por el contrario, se observa la influencia de la vegetación riparia asociada al río Tunjuelo que incrementa la permeabilidad en el sector central de la cuenca. Igual sucede en los sectores laterales donde predomina la vegetación de páramo y los matorrales, que también inciden en el aumento de la permeabilidad del paisaje. Es notoria la influencia de la vegetación riparia la cual aumenta la permeabilidad dada por el contacto directo que tiene con la mayoría de parches de bosque, sobre todo en las áreas centro oriente y centro occidente de la cuenca media como se representa en la Figura 6.

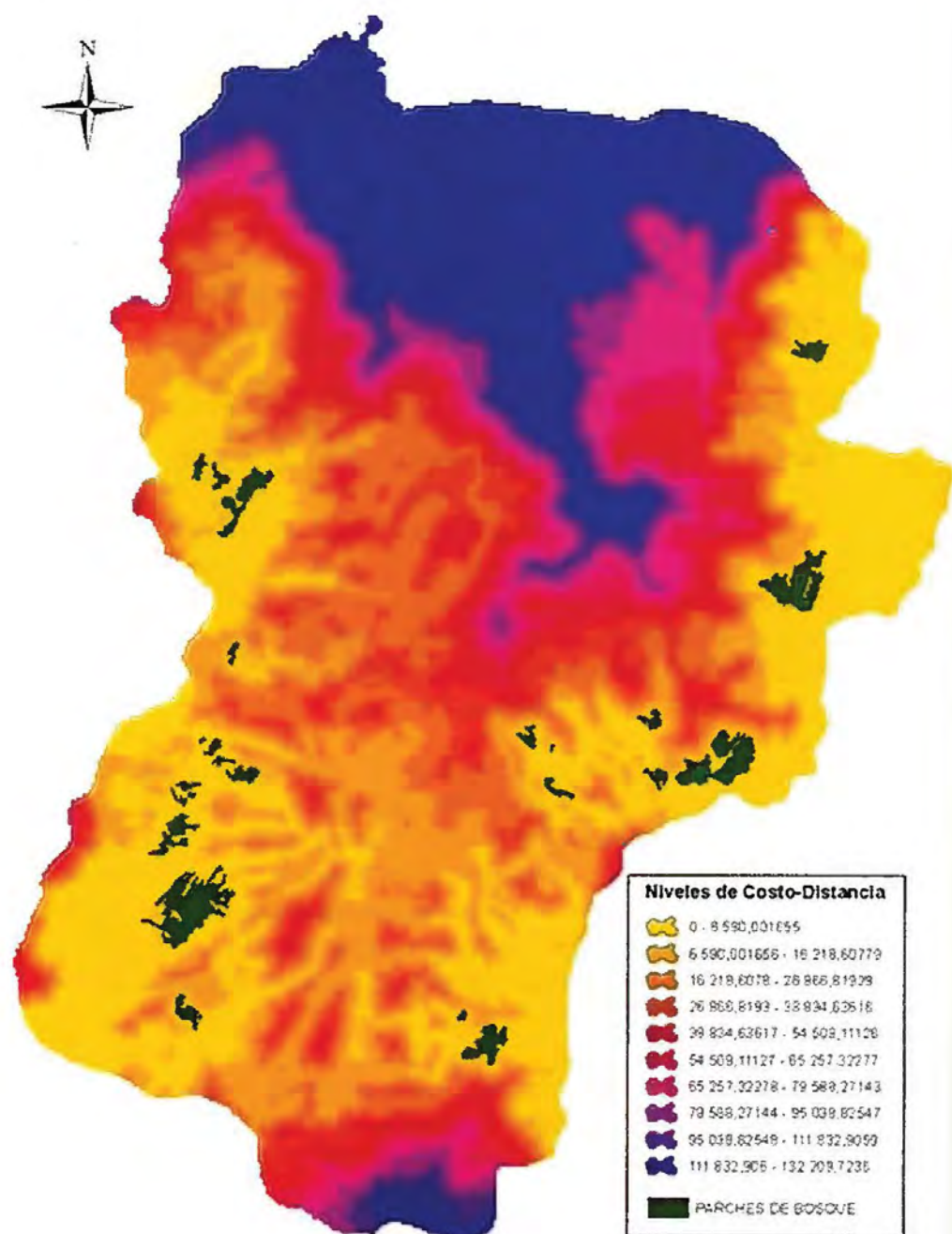


Figura 6. Distribución de la permeabilidad del paisaje calculada con base en los parches de bosque.

A partir del mapa de permeabilidad (Figura 6) es posible construir las rutas de mínimo costo de desplazamiento de la especie «tipo» entre los parches de interés.

Para la Figura 7 se tomaron como ejemplo dos parches de bosque, uno ubicado en el costado oriental en la localidad de Ciudad Bolívar y otro en la localidad de Usme.

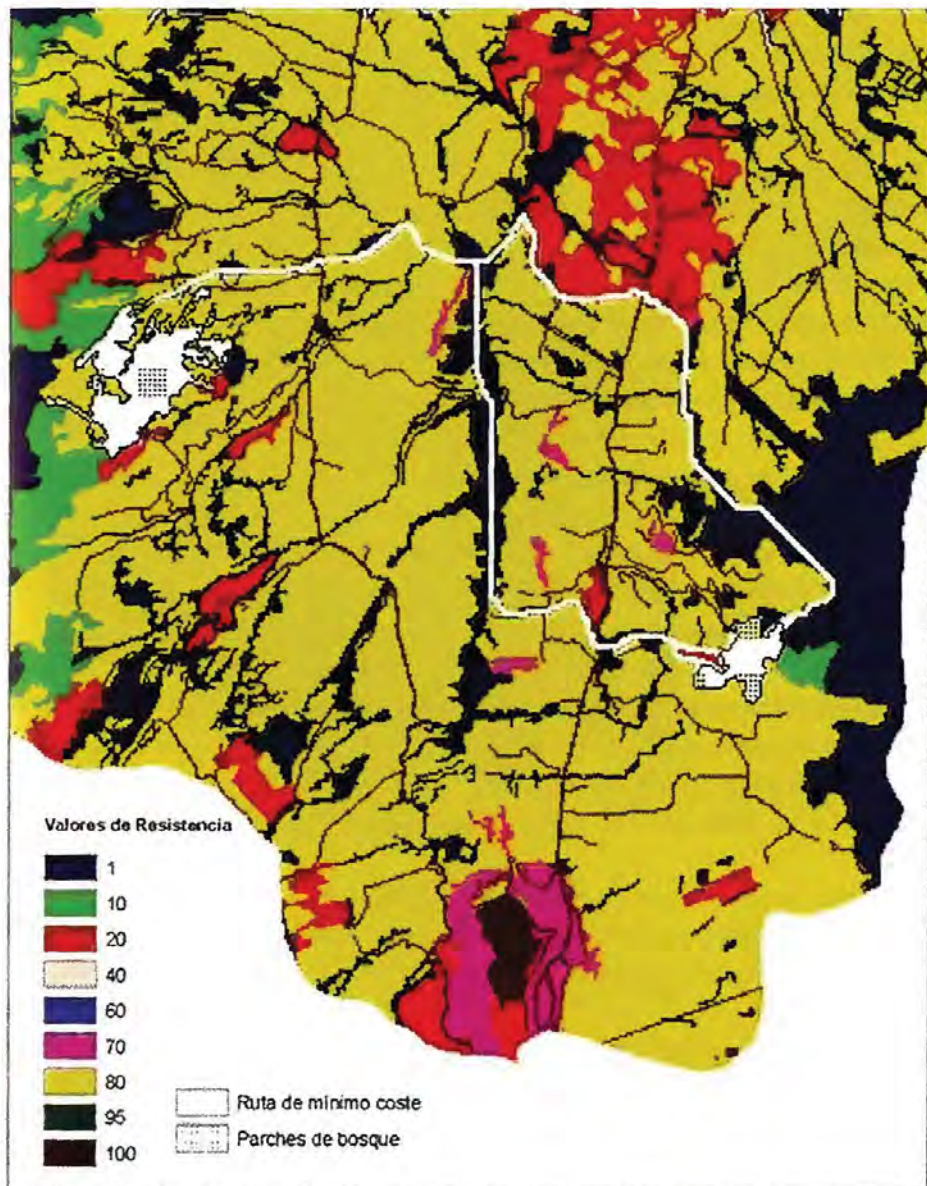


Figura 7. Ejemplo de conexión entre parches de bosque con base en rutas de mínimo costo.



En el modelo resultante se considera que la movilidad óptima de la especie «tipo» está definida por la vegetación natural y seminatural utilizando preferiblemente la vegetación riparia como corredor y los parches de bosque como fuentes (Tabla 2). De Lucio *et al* (2002) y Lindenmayer y Fischer (2006) señalan la necesidad de mantener las coberturas de tipo lineal —vegetación riparia, cercas vivas, setos, etcétera— para favorecer la permeabilidad de la matriz del paisaje al facilitar el desplazamiento de la fauna con características similares a la especie «tipo».

El modelamiento de rutas de mínimo costo puede ser de gran importancia para el trazado y diseño de corredores ecológicos que faciliten el desplazamiento y la conectividad entre parches de interés. De acuerdo con Sastre y de Lucio (2002) los modelos de conectividad pueden ser empleados para desarrollar corredores y redes de conservación en paisajes rurales como el de la cuenca media del río Tunjuelo al aportar información base para la identificación de áreas donde sea viable mantener la funcionalidad del territorio.

En la Figura 8 se presenta un ejemplo de la influencia ejercida por la cercanía al asentamiento urbano de Bogotá, donde se pretende generar la conexión (línea blanca, Figura 8) entre un parche de interés ubicado al noroccidente en la vereda Mochuelo, localidad de Ciudad Bolívar, con otro al oriente en la vereda Los Soches, localidad de Usme.

La ruta óptima muestra que según las preferencias de movilidad de la especie «tipo» es muy difícil pasar entre las distintas coberturas aledañas debido a la alta resistencia que implica la cercanía a otras como el basurero «doña Juana», las canteras, los asentamientos urbanos agregados, etcétera.

De acuerdo con la ruta óptima la especie «tipo» debería bajar casi hasta Pasquilla y atravesar prácticamente toda la matriz antrópica por medio de coberturas con resistencia baja como vegetación riparia y relictos de matorrales.

Este tipo de ruta óptima deja en claro la necesidad de disminuir la resistencia de la matriz en áreas que cada vez son más susceptibles por la presión urbana u optar por el aumento de la conectividad en áreas donde la resistencia no es tan alta como en el ejemplo de la Figura 7.

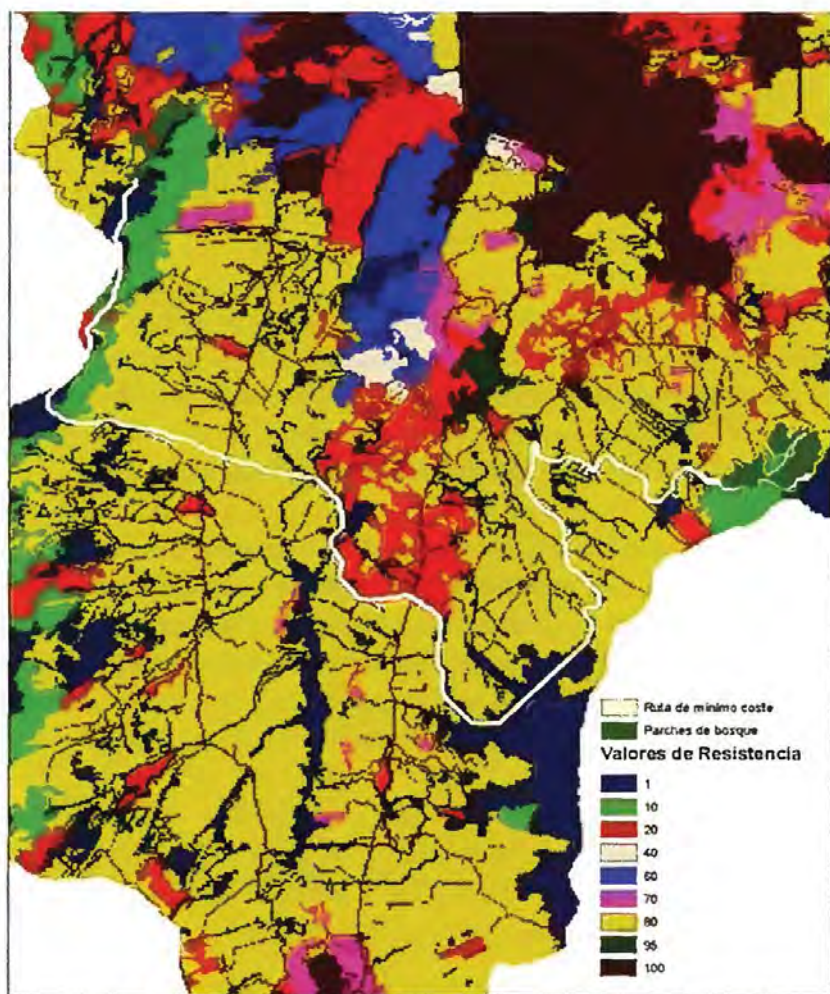


Figura 8. Ejemplo de conexión entre parches de interés en áreas con niveles de resistencia alto por medio de rutas de mínimo costo.

CONCLUSIONES

Según los índices aplicados en el nivel de paisaje se concluye que el estado actual de conectividad estructural de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo está ampliamente determinado por el dominio y por la agregación espacial de la matriz antrópica, que juega un papel crucial en las interacciones entre los fragmentos de coberturas naturales y seminaturales. Estos fragmentos se encuentran levemente ligados por la vegetación riparia la cual es un elemento que cumple funciones de enlace entre las coberturas naturales y seminaturales, manteniendo la conectividad del ambiente natural y de procesos ecológicos a través de la matriz del paisaje.

Es evidente cómo la conectividad estructural y ecológica de la cuenca media está conformada por un nodo central que corresponde a la vegetación asociada al río Tunjuelo que conecta por medio de sus afluentes a las partes más altas de la cuenca, donde se encuentran los relictos boscosos importantes y las áreas de influencia de los acueductos veredales, elementos que al mismo tiempo ofrecen conectividad en las partes altas y aisladas.

El gradiente de proximidad al asentamiento urbano de Bogotá determina en gran parte la conectividad tanto estructural como funcional de la cuenca media. A medida que las coberturas naturales y seminaturales de porte alto se acercan a la matriz urbana pierden gradualmente la probabilidad de conectarse entre ellas al encontrar una mayor resistencia por parte de la matriz.

Por el contrario, la conectividad aumenta a medida que se acerca al área rural en donde se hace más clara la importancia de la vegetación riparia como elemento de enlace del paisaje. Esto se evidencia con los resultados obtenidos mediante el cálculo de los índices de conectividad a partir del mapa simulado, donde se asume que la vegetación riparia ha sido reemplazada por la matriz antrópica; todos los índices de agregación aumentaron demostrando su dominancia.

Con respecto a la conectividad estructural a nivel de clase se puede concluir que las coberturas vegetales que presentan mayor conectividad según el índice de distancia media al vecino más cercano es el pajonal subxerofítico, el cual se encuentra agrupado al noroccidente de la cuenca media.

Es evidente el alto grado de conectividad espacial que presentó la vegetación riparia, determinado por sus formas lineales y de carácter conector del paisaje. Coberturas de porte alto como los bosques y matorrales presentaron niveles de conectividad muy baja evidenciando un alto grado de aislamiento y una leve probabilidad de agrupación, reiterando la necesidad vital de realizar acciones de restauración ecológica enfocadas a garantizar la conectividad de dichas coberturas.

Según el índice de proximidad es claro cómo en los diferentes rangos de búsqueda la matriz antrópica presenta niveles notablemente más altos que las demás coberturas, lo que reitera su dominancia y alto grado de conectividad.

Por el contrario coberturas como bosques y matorrales presentan valores muy bajos de proximidad evidenciando una baja conectividad estructural y un amplio aislamiento además de tamaños promedio relativamente pequeños. Por el contrario la vegetación riparia presenta una mayor proximidad a las demás coberturas. Es evidente cómo aumenta el grado de conectividad a medida que el radio de búsqueda se incrementa.

Con base en el índice de conectancia se puede concluir que las coberturas de pajonal frailejonal presentan un mayor grado de conectancia en comparación con las demás coberturas ya que poseen un mayor número de enlaces funcionales de parches focales, debido tal vez al estado de agrupación distribuido en sectores.

Con base en la aproximación al estudio de conectividad funcional es clara la necesidad de incrementar la generación de conocimiento en cuanto al comportamiento de las especies de fauna que habitan la cuenca media, de esta forma los resultados se hacen más objetivos y pueden aportar mayor información clave para la toma de decisiones en cuanto al establecimiento de corredores ecológicos.

Según el mapa de permeabilidad del paisaje la conectividad funcional se ve influenciada claramente por la matriz antrópica que posee una amplia extensión y una alta resistencia a la movilidad de la especie «tipo»; igualmente está influenciada por la proximidad del parche urbano disminuyendo el nivel de permeabilidad para los sectores que circundan dicha cobertura.

En el mapa de permeabilidad se observa cómo la vegetación riparia aumenta los niveles de permeabilidad del paisaje sobre todo la asociada al río Tunjuelo, que incrementa la permeabilidad para el sector central de la cuenca; también pasa con los sectores laterales donde predomina la vegetación de páramo y los matorrales.

Según las rutas de mínimo costo es evidente la resistencia a la conectividad funcional por parte de la matriz antrópica convirtiéndose en barrera para la especie «tipo». Estas rutas pueden ser de gran importancia para el trazado y el diseño de corredores ecológicos que faciliten el desplazamiento y, por lo tanto, la conectividad entre parches de interés.

Bibliografía

- Adriaensen, F., J. P. Chardon, G. de Blust, E. Swinnen, S. Villalba, H. Gulinck, E. Matthysen. 2003. *The application of «leastcost» modelling as a functional landscape model*. Landscape and urban planning 64: 233-247.
- Bennet, A. F. 1999. *Linkages in the landscape*. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Switzerland and Cambridge, UK.
- Botequilha, L., J. Miller, J. Ahern, K. McGarigal. 2006. *Measuring landscape. A planner's handbook*. Island Press.
- De Lucio, J. V., Martínez, C. y Sastre, P. 2002. *Caracterización de la estructura y funcionalidad de los elementos lineales del paisaje en la cuenca del río Guadiana*. En: Resultados del programa de investigación del corredor verde del Guadiana: 312-323.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land mosaics*. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fortin, M. J., M. R. T. Dale y J. Hoef. 2002. *En: Encyclopedia of environmetrics*. El-Shaarawi, A. y W. Piegorsh. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Gurrutxaga, M. 2003. *Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la comunidad autónoma del país Vasco*. Gobierno Vasco.
- Gurrutxaga, M. 2004. *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad - nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial*. Departamento de Agricultura y Pesca. Gobierno Vasco.
- Gustafson, E. J. 1998. *Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?* Ecosystems 1: 143-156.
- Lindenmayer, D. B. y Fischer, J. 2006. *Habitat fragmentation and landscape change*. An ecological and conservation synthesis. Island Press.
- Marull, J. y Mallarach, J. M. 2002. *La conectividad ecológica en el área metropolitana de Barcelona*. Ecosistemas 2:6, Mayo-Agosto.
- McGarigal, K. y Marks, B. J. 1995. *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. USDA Forest service.
- Moilanen, A. y Nieminen, M. 2002. *Simple connectivity measures in spatial ecology*. Ecology, 83: 1131-1145.

- Moreno, J. 2006. *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Alfa-Omega. Méjico, D.F.
- Naveh, Z., A. S. Lieberman, F. O. Sarmiento, C. M. Ghera & R. J. C. León. 2001. *Ecología de paisajes. Edición en español*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- O'Neill, R. V., J. R. Krumme, R. H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L. DeAngelis, B. T. Milne, M. G. Turner, B. Zygmunt, S. W. Christensen, V. H. Dale, and R. L. Graham. 1988. *Indices of landscape pattern*. *Landscape Ecology* 1(3): 153-162.
- Sastre, P., de Lucio, J. V. y Martínez, C. 2002. *Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas*. Ejemplos de aplicación en la comunidad de Madrid. *Ecosistemas* 2002: 2 (URL:<http://www.aeet.org/ecosistemas/022/investigacion5.htm>)
- Taylor, P. D., Fahrig, L. y K. With. 2006. *A return to the basics*. En Crooks, K. y Sanjayan (eds). *Connectivity Conservation*. Cambridge: 29-43.
- Tischendorf, L. y Fahrig, L. 2000. *How should we measure landscape connectivity?* *Landscape Ecology* 15: 633-641.