

PÉREZ ARBELAEZIA

Agosto de 2005

ISSN 0120-7717



Concurso de ilustración botánica, científica y artística
Jardín Botánico de Bogotá - José Celestino Mutis. 50 años
Rosendo Rojas Africano - Primer puesto *Categoría Científica*.



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ

1986 - 1972

Sacerdote - Investigador

Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

**PÉREZ
ARBELÁEZIA**

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.



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D. C.**

Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Luis Eduardo Garzón

**Jardín Botánico de Bogotá
"José Celestino Mutis"**

Directora

Martha Liliana Perdomo Ramírez

Secretaria General

Angélica Díaz Ortiz

Jefe Oficina Asesora Jurídica

Edna Patricia Rangel Barragán

Jefe Oficina Asesora de Control Interno

Nancy Sanabria Rojas

Asesor de Planeación

Vladimir Forero Serrano

Subdirectora Científica

Claudia Córdoba García

Subdirector Técnico Operativo

Rolando Higuita Rodríguez

Subdirectora Educativa y Cultural

Paola Liliana Rodríguez Suárez

PÉREZ - ARBELAEZIA

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 ésta 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

Martha Liliana Perdomo	Directora
Claudia Córdoba	Subdirectora Científica
Paola Rodríguez	Subdirectora Educativa y Cultural
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

Editores

Patricia Jaramillo Martínez
Germán I. Andrade Pérez

Comité Científico



Alberto Gómez Mejía	Presidente	Red Nacional de Jardines Botánicos de Colombia
Francisco Sánchez	Asesor	Jardín Botánico
Guadalupe Caicedo	Investigadora	Jardín Botánico
Gustavo Morales	Coordinador colecciones	Jardín Botánico
Ricardo Pacheco	Investigador	Jardín Botánico
Rito Hernán Cardozo	Investigador	Jardín Botánico
Rolando Higueta	Subdirector	
	Técnico Operativo	Jardín Botánico
Sandra Cortés	Investigadora	Jardín Botánico
Tania Rodríguez	Investigadora	Jardín Botánico

Grupo de Árbitros

Alba Stella Riveros	Docente - Investigadora	UT - CATIE
Ana Milena Caicedo	Docente - Investigadora	Universidad del Valle
César E. Barbosa C.	Biólogo - Investigador	Conservación Internacional
Gary Stiles	Docente - Investigador	Universidad Nacional de Colombia
Jaime Pedraza	Docente	Universidad Distrital Francisco José de Caldas
José Luis Fernández	Docente - Investigador	Universidad Nacional de Colombia
María M. Gaitán U.	Coordinadora Unidad de Comunicación, Educación y Participación	Instituto A. von Humboldt Colombia
Orlando Rangel	Profesor	Universidad Nacional de Colombia
Orlando Vargas	Profesor - investigador	Universidad Nacional de Colombia
Santiago Díaz P.	Presidente	Academia de Historia
William M. Mora P.	Docente	Universidad Distrital Francisco José de Caldas

PÉREZ ARBELAEZIA

Publicación anual

© 2005 - Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

ISSN 0120-7717

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.

Coordinación general

Paola Rodríguez Suárez - Subdirectora Educativa y Cultural

Coordinación editorial

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

- Corrección:

Germán Ignacio Andrade Pérez

Patricia Reyes Aparicio

Camila Gaitán Gaitán

- Diseño y diagramación: Bibiana Andrea Alturo M.

Impresión

Universidad Nacional de Colombia - Unibiblos

Ilustración carátula

Concurso de ilustración botánica, científica y artística

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 50 años

Rosendo Rojas Africano

Primer puesto - *Categoría Científica.*

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. (Cll) 63 No. 68-95 / Tel: 437 7060 / Fax: 630 5075

www.jbb.gov.co

CONTENIDO

Presentación.....	8
Análisis de conectividad para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá en el contexto urbano y periurbano. Fernando Remolina Angarita.....	11
Análisis de la clasificación de corredores ecológicos para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. Fernando Remolina Angarita.....	29
Germinación in vitro de la orquídea <i>Masdevallia ignea</i> Rchb.f a partir del cultivo de semillas provenientes de diferentes tipos de polinización. Belkys A. Pérez Martínez / Ricardo A. Pacheco Salamanca.....	45
Aspectos reproductivos de la orquídea <i>Masdevallia ignea</i> Rchb.f en condiciones de cultivo en el Jardín Botánico de Bogotá "José Celestino Mutis". Nathalia Chavarro Rodríguez / María Argenis Bonilla / José Ricardo Cure Hakim Ricardo Arturo Pacheco Salamanca.....	59
Evaluación de la micropropagación por cultivo de tejidos vegetales in vitro en dos especies de passifloras (<i>Passiflora popenovii</i> Killip y <i>Passiflora edulis</i> Sims). Isabel P. Guzmán Munar / Juan D. Adame Rodríguez / Ricardo Arturo Pacheco Salamanca.....	73
Aproximaciones conceptuales a la construcción de un modelo pedagógico para la Educación Ambiental en el Jardín Botánico de Bogotá "José Celestino Mutis". Alba Carolina Molano Niño.....	105
Las aves del Jardín Botánico de Bogotá "José Celestino Mutis" y del parque Distrital Simón Bolívar: recuento de los últimos ocho años. María Angela Echeverry G.....	115
Gasterópodos terrestres del Jardín Botánico de Bogotá "José Celestino Mutis". Universidad Militar Nueva Granada. Clara Medina Bermúdez / Guadalupe Caicedo Ramírez / Diana Arias Olmos.....	137

PRESENTACIÓN

Apreciado lector:

Para la presente administración constituye un inmenso orgullo tener la oportunidad de conmemorar en el 2005, además de los 50 años de fundación del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 20 años de creación de la revista científica *Pérez Arbelaez* 1985 - 2005, a través de la cual se ha venido difundiendo el conocimiento producido no sólo por los investigadores que hacen parte del equipo humano de la Institución, sino por parte de destacados científicos que han contribuido al saber de la mega diversidad botánica característica de nuestro maravilloso país.

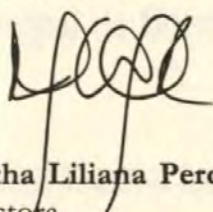
Esta circunstancia nos reta a trabajar en pro del avance cualitativo de la Institución y sus productos, por tal motivo, en la medida que el Jardín Botánico es una entidad que depende del Distrito Capital y se constituye como Centro de Investigación y Desarrollo Científico, se ha elaborado un Plan Estratégico que articula su que hacer al Plan de Desarrollo Distrital, incluyendo la investigación aplicada entre sus propósitos, en el marco del desarrollo sostenible.

En tal sentido, la estructura editorial de la revista *Pérez Arbelaez* corresponde a las líneas de acción del Plan Estratégico de la entidad, en el ámbito de la botánica sistémica, ecología del paisaje, conservación de ecosistemas altoandinos y de páramo, educación y política ambiental; por lo tanto tiene la misión de presentar el conocimiento generado por el Jardín, no sólo en términos de producción científica básica, sino que abre sus páginas a la divulgación de los avances en el conocimiento de las ciencias de la educación, en cuanto al desarrollo pedagógico y a las ciencias aplicadas.

También nos hemos planteado el reto de cumplir con los requisitos de Colciencias para la indexación de la revista *Pérez Arbelaezia*, con el ánimo de participar activa y visiblemente en la comunidad científica internacional y aportar desde nuestro país, al avance del conocimiento científico. Adicionalmente para estar al día en los avances tecnológicos del milenio, pretendemos que sea este ejemplar, el primer número digital de la revista.

Esperamos que el minucioso trabajo de los investigadores que aquí presentamos sea de gran utilidad para usted, Bogotá, Colombia y para todos aquéllos a quienes llegue, en cualquier lugar donde se encuentren.

Mis mejores deseos.



Martha Liliana Perdomo Ramírez

Directora

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Análisis de conectividad para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá en el contexto urbano y periurbano

Por

FERNANDO REMOLINA ANGARITA.¹

Recibido: 13 de marzo de 2006 / Aceptado: 30 de julio de 2006

Resumen

El grado de conectividad de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá - EEP - fue determinado utilizando tres escalas espaciales: regional, local y microescala. La escala regional define los elementos de la EEP que conectan ecológicamente con la región. La escala local mide el grado de conectividad y circuicidad de la EEP vista como una red y el efecto que ejerce la matriz de paisaje sobre los corredores ecológicos. Finalmente, la microescala pondera la probabilidad de flujo de un servicio ambiental de regulación o sustento para cada conector de la red. Los resultados muestran baja conectividad espacial de la EEP.

Palabras clave

Red ecológica; conectividad; circuicidad; estructura de redes; corredores ecológicos; pasajes ecológicos.

1. Biólogo M.A. en Geografía. Profesional de la Subdirección Científica, Jardín José Celestino Mutis de Bogotá. Bogotá, Colombia. fremolin@gmail.com



Connectivity Analysis of Bogotá's Main Ecological Structure in the Urban and Periurban Context

Abstract

The network connectivity analysis of Bogotá's Main Ecological Structure -EEP- was determined by considering three spatial scales: regional, local and microscale. The regional scale determines the main elements that ecologically connect the EEP with the region. The local scale measures both connectivity and circuitry percentages of the EEP seen as a network and the effect of the matrix on the ecological corridors. Finally, the microscale weighs up the likelihood of environmental service flow through a connector. The results point out low structural connectivity of the EEP.

Keywords

Ecological network; connectivity; circuitry; network structure; ecological corridors; ecological passages.

INTRODUCCIÓN

El concepto de Estructura Ecológica tiene sus raíces en la propuesta de conservación conocida como "redes ecológicas", cuyo objetivo es crear las condiciones físicas necesarias para mejorar la viabilidad de poblaciones y ecosistemas localizados dentro de ambientes dominados por el hombre (van Lier, 2005). La idea de redes ecológicas es ampliamente usada en Europa a nivel local (Grift & van der Sluis, 2003; Sluis et. al., 2003), regional (Rooij et. al., 2003; Sluis et. al., 2001), nacional (WWF, 2003) y continental (Bloemmen & van der Sluis, 2004), buscando cambiar el modelo de conservar "islas" naturales con grandes valores ecológicos pero separadas entre sí, al modelo de preservación y restauración de áreas naturales interconectadas (Jongman et. al., 2004).

En Colombia se introdujo el concepto de Estructura Ecológica, el cual es un sinónimo de red ecológica en su definición y finalidad; este concepto ha sido aplicado a nivel local (Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000), regional (van der Hammen, 1998) y nacional (van der Hammen & Andrade, 2003).

Las estructuras ecológicas están compuestas de áreas protegidas conectadas por corredores ecológicos, con el fin de generar y facilitar el flujo de servicios ambientales a través de un territorio, además de garantizar el mantenimiento integral de la biodiversidad (van der Hammen & Andrade, 2003). El objetivo de crear estas estructuras en ciudades es equilibrar el desarrollo urbano y rural con la preservación del medio ambiente.

La primera formulación de Estructura Ecológica en Colombia fue elaborada a nivel regional para la cuenca alta del río Bogotá (van der Hammen, 1998). En esta estructura se incluyen zonas con altos valores geológicos, geomorfológicos, edafológicos y ecosistémicos de la Sabana de Bogotá. Después se aplica este concepto a nivel local dentro del Plan de Ordenamiento de Bogotá, donde se define Estructura Ecológica Principal -EEP- como:

“La red de espacios y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales a través del territorio, en sus diferentes formas e intensidades de ocupación, dotando al mismo de servicios ambientales para su desarrollo sostenible” (*Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000*)

La EEP conglomerará las áreas protegidas, el sistema hídrico y el sistema de parques en una red de espacios que se convierte en la base del ordenamiento de la ciudad (Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000).

La función de la Estructura Ecológica como productora y conductora de servicios ambientales depende, en buena parte, de la conectividad de sus elementos. Los principales componentes que influyen en la conectividad potencial de especies, comunidades o procesos ecológicos son la conectividad

estructural y de comportamiento. El primer componente es determinado por la disposición espacial de los diferentes hábitats en el paisaje y es influenciado por factores como la continuidad de ecosistemas, área y longitud de coberturas que separan ecosistemas, distancia a ser atravesada y la presencia de rutas alternas que conectan hábitats. El componente de comportamiento hace referencia a la respuesta de las especies frente a estructuras del paisaje. El comportamiento es influenciado por la escala a la que las especies perciben y se mueven dentro del ambiente, sus requerimientos y grado de especialización de hábitat, su tolerancia a hábitats disturbados y respuesta de la especie a sus depredadores y competidores (Bennett, 2003).

Bogotá D.C. tiene un área de 163.575 ha, de las cuales la EEP ocupa 78.770 ha; el 93% de la EEP se encuentra en territorio rural, mientras que el restante 7% se localiza en el área urbana y de expansión de Bogotá. Este último porcentaje es de gran importancia porque los principales conectores de la EEP con la región se encuentran en la zona periurbana de Bogotá, además de constituirse en los elementos con mayor riesgo de ser transformados por la expansión urbana. El estudio del grado de conectividad estructural de los elementos de la EEP en suelo urbano y periurbano bogotano es necesario para inferir si actualmente esta estructura conduce los servicios ambientales de sustento que sostienen ambientalmente a la ciudad.

La EEP bogotana tiene configuración de red y está embebida en las áreas rural y urbana de Bogotá, convirtiéndose así en el elemento articulador del territorio en Bogotá D.C. El flujo de bienes y servicios ambientales de sustento de la EEP depende en buena parte de su articulación con la Sabana de Bogotá (escala regional), la conectividad estructural a nivel distrital (escala de estudio) y el estado ambiental de cada uno de los corredores ecológicos que la cohesionan (escala local).

El objetivo principal de este trabajo es analizar la conectividad espacial entre elementos de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá en el contexto geográfico urbano y periurbano.

METODOLOGÍA

Debido a la configuración de red de la EEP y el entrelazamiento de componentes a diferentes escalas, la presente metodología utiliza tres niveles jerárquicos espaciales:

- **Escala Regional:** define la relación ecológica entre Bogotá y la región. Este nivel limita y controla los niveles jerárquicos inferiores.
- **Escala Local:** corresponde al grado de conectividad espacial entre los principales componentes de la EEP bogotana identificados en la escala regional.
- **Microescala:** provee detalles necesarios para explicar el comportamiento observado en la escala local (ver figura 1).

La escala regional es utilizada para determinar los elementos de la EEP que se conectan espacialmente con la Estructura Ecológica Regional, es decir, con la sabana de Bogotá y del Macizo de Chingaza. El río Bogotá junto con los Cerros Orientales y el Macizo de Sumapaz, son los elementos de la EEP que se conectan con la Estructura Ecológica Regional (Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000).

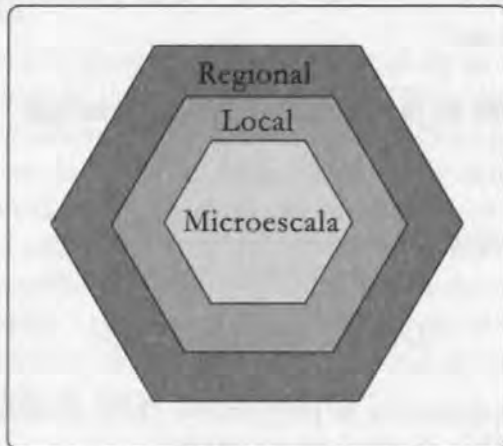


Figura 1. Niveles jerárquicos espaciales de análisis. La escala regional limita a la escala local; la microescala provee los detalles necesarios para explicar lo encontrado en la escala local (Adaptado de Turner et. al., 2003).



1. Escala local

La escala local determina el grado de conectividad entre los componentes de la EEP y la influencia de la matriz en que se encuentran inmersos los corredores ecológicos.

El grado de conectividad se determina mediante el cálculo de índices de conectividad y circuicidad, basados en un modelo gráfico que simplifica las relaciones espaciales de continuidad entre nodos y rutas concatenados. Estos índices son tomados de la teoría de redes aplicado a modelos de transporte (Lowe & Moryadas, 1975; Taaffe et. al, 1996) y han sido adaptados a la ecología del paisaje (Dramstad et. al, 1996; Forman, 1998). Los nodos son las áreas protegidas periurbanas o urbanas, parques metropolitanos y zonales, mientras que las rutas son los ríos, quebradas y canales.

A partir de estos elementos se generan tres criterios diferentes de conectividad; el primero es un gráfico en que se califican los nodos de acuerdo al número de vértices - rutas - que confluyan en él. A partir de este gráfico se elabora una matriz binaria de conectividad entre los nodos directamente conectados. Los nodos que se encuentren contiguos tienen una valoración de uno (1) y los nodos que no se encuentren contiguos tienen una valoración de cero (0). A partir de los resultados de este modelo se determinan los corredores ecológicos con mayor conectividad estructural y se calculan los siguientes índices:

Índice de conectividad de la Estructura Ecológica Principal.

$$\text{Índice Gamma} = \frac{\text{Número de rutas}}{3 (\text{número de nodos} - 2)}$$

(Lowe & Moryadas, 1975)

El índice gamma representa la proporción entre el número actual y el mayor número posible de rutas en un gráfico.



Índice de circuicidad de la Estructura Ecológica principal.

Circuicidad es definido por Dramstad et. al. (1996) como el número de rutas alternas presentes entre nodos de una red. Lowe & Moryadas (1975) definen el índice alfa de circuicidad como:

$$\text{Índice Alfa} = \frac{\text{Número de nodos} - \text{Número de rutas} + \text{Número de subgráficos}^1}{2 (\text{Número de rutas}) - 5}$$

El segundo parámetro a escala local es la influencia de la matriz de paisaje en que se encuentran los corredores ecológicos. El sistema vial es un elemento limitante para la generación y flujo de servicios ambientales de sustento porque fragmenta ecosistemas y genera alto contraste con coberturas naturales, obstruyendo así procesos ecológicos. Corredores inmersos en una malla vial densa disminuye la cantidad y calidad de flujo de servicios ambientales de sustento y el sostenimiento integral de la biodiversidad. El criterio para medir la influencia de la malla vial densa sobre los corredores ecológicos en el área urbana y periurbana de Bogotá es la longitud del eje central del corredor ecológico inmersa en esta red vial.

2. Nivel microescala

A nivel microescala se pondera el flujo potencial de servicios ambientales a través de cada uno de los elementos de la EEP que se encuentran en el área urbana y periurbana. La determinación del flujo potencial de servicios ambientales es dada por la distancia entre coberturas naturales -de montaña, plano aluvial o humedales - que se encuentren en el corredor. El flujo de servicios ambientales de sustento circula más eficientemente a menor distancia recorrida entre ecosistemas que se encuentren en un mismo corredor. La tabla 1 pondera el flujo potencial de servicios ambientales que ofrece un elemento de la EEP de acuerdo con el criterio de distancia respecto a la cobertura natural más cercana.

1. Los subgráficos son aquellas subredes del gráfico que se encuentran desconectadas.

Característica	Ponderación
Tres o más coberturas naturales contiguas	Muy alta
Cobertura natural contigua a otra cobertura natural	Alta
Corredor que une dos coberturas naturales o parques metropolitanos en una distancia menor de 3 Km.	Media
Corredor sin coberturas naturales o parques metropolitanos cercanos a su eje central	Muy Baja

Tabla 1. Matriz de ponderación del flujo potencial de servicios ambientales para componentes de la Estructura Ecológica Principal.

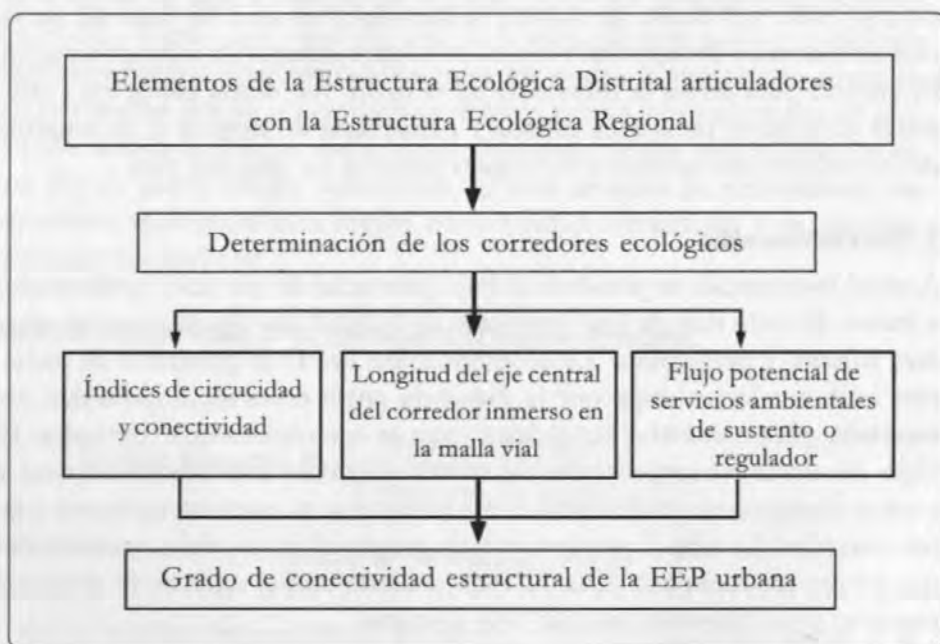


Figura 2. Modelo conceptual para determinar la conectividad espacial de la EEP en el contexto urbano y periurbano. El color verde indica criterios aplicados a escala local; el color azul indica el criterio utilizado a nivel de microescala.

La figura 2 resume el modelo conceptual utilizado para determinar el grado de conectividad espacial entre coberturas naturales, parques metropolitanos, corredores ecológicos y parques zonales que conforman la EEP bogotana en el contexto urbano y periurbano.

El análisis de las escalas local y microescala fueron elaborados a partir del mapa de Estructura Ecológica Principal (escala 1:40.000) generado para el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá (Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000). Los productos geográficos de esta investigación son modelos gráficos elaborados utilizando Arcview 3.2a. Estos modelos gráficos no tienen escala espacial porque su finalidad es medir conectividad espacial de la EEP, para lo cual no es importante el tamaño sino la posición de los elementos en el espacio.

RESULTADOS

1. Escala local

La figura 3 muestra la segregación de la EEP en seis subredes: (1) río Tunjuelo, (2) río Fucha, (3) río Juan Amarillo (Canal San Francisco, Canal río Negro, Canal Molinos y Canal Salitre), (4) humedal de Jaboque y canales vecinos, (5) Cerro La Conejera - humedal La Conejera y (6) humedales Torca y Guaymaral y Parque Guaymaral. Las principales subredes por número de conectores en el área de estudio son río Tunjuelo (26 conectores), río Fucha (11 conectores) y el río Juan Amarillo (11 conectores). Estas seis subredes, exceptuando el subsistema del Cerro La Conejera y el humedal de Jaboque, unen a los Cerros Orientales con el Río Bogotá, siendo la más importante el río Tunjuelo por número de conectores directos y ser la única subred que conecta el Páramo de Sumapaz, los Cerros Orientales y el río Bogotá.

Los índices de conectividad gamma y de circuicidad alfa para la EEP localizada en el área urbana y periurbana de Bogotá son 0.22 y 15% respectivamente.

El índice alfa de circuicidad muestra que solo el 15 % de la EEP tiene rutas alternas para llegar a un mismo nodo. Este porcentaje está en su mayoría concentrado en la Quebrada Chiguaza que une los Cerros Orientales con el parque Entrenubes, indicando que los demás corredores de la

EEP están frágilmente conectados, es decir, que su conectividad depende de uno o dos conectores; exceptuando el río Tunjuelo y río Juan Amarillo, las subredes que están conectadas a los Cerros Orientales lo hacen por medio de un solo conector, situación que muestra la fragilidad del flujo de servicios ambientales desde este sistema montañoso al valle aluvial del río Bogotá.

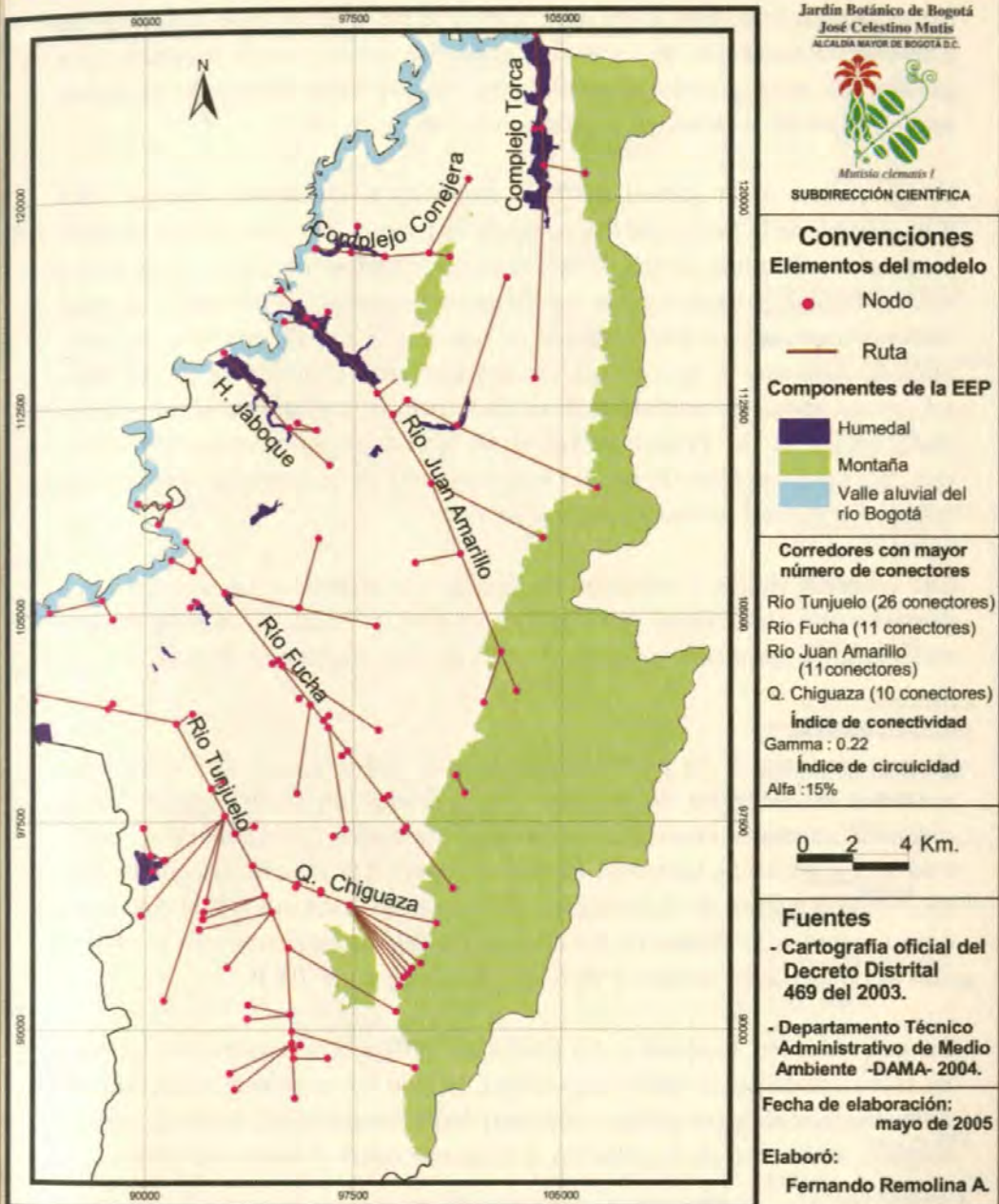
El flujo de servicios ambientales de sustento a través de un corredor ecológico disminuye al encontrarse dentro de una matriz urbana; en esta investigación, la matriz urbana es representada por la malla vial densa de Bogotá. A mayor longitud del eje central del corredor ecológico dentro de la malla vial, menor es la posibilidad de flujo de un servicio ambiental de regulación o sustento. Las subredes río Tunjuelo, río Fucha, río Juan Amarillo y Humedal de Jaboque se encuentran inmersas en la malla vial densa bogotana, mientras que sólo una pequeña porción de las subredes de Torca y Conejera están en la misma situación (ver figura 4). La tabla 2 presenta la longitud del eje central de los corredores ecológicos inmersa en la malla vial densa de Bogotá.

Subred de la estructura ecológica principal	Longitud del eje central de la subred (km.) dentro de la malla vial
Río Tunjuelo	24.5
Río Fucha	17.4
Río Juan Amarillo	18.8
Jaboque	7.4
Conejera	7.5
Torca	6.3

Tabla 2. Longitud del eje central de las subredes de la Estructura Ecológica Principal inmersas en la malla vial densa de Bogotá.



Figura 3. Modelo gráfico de conectividad para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá -EEP- en el contexto urbano y periurbano



Mapa: Fernando Remolina



Los ejes de los ríos Tunjuelo y Fucha se encuentran inmersos 24.5 Km. y 17.4 Km. dentro de la malla vial respectivamente, desde su entrada al casco urbano bogotano hasta desembocar al río Bogotá. Este hecho unido a que en el recorrido de estas dos subredes no hay áreas naturales (ver gráfica 4), resta grandes posibilidades de que estén fluyendo servicios ambientales de sustento o regulación a través de ellos.

El eje central de la subred río Juan Amarillo se encuentra inmerso 18.8 Km. dentro de la malla vial densa desde el Parque Nacional Olaya Herrera hasta el río Bogotá, siendo diferencial el potencial de flujo de servicios ambientales de sustento entre los diferentes canales. Es así como el canal Molinos tiene mayor probabilidad de que por él fluyan servicios ambientales de sustento ya que enlaza en una distancia aproximada de 3.5 Km. a Cerros Orientales con el humedal de Córdoba, mientras que en el recorrido del Canal San Francisco-Salitre no se encuentran ecosistemas silvestres, limitando el flujo de servicios ambientales de sustento porque no hay cobertura natural cercana que los genere.

Las subredes de los humedales de Torca - Guaymaral y La Conejera son parcialmente atravesadas por vías principales (6.3 Km. y 7.4 Km. respectivamente) y no están inmersas dentro de una malla vial densa.

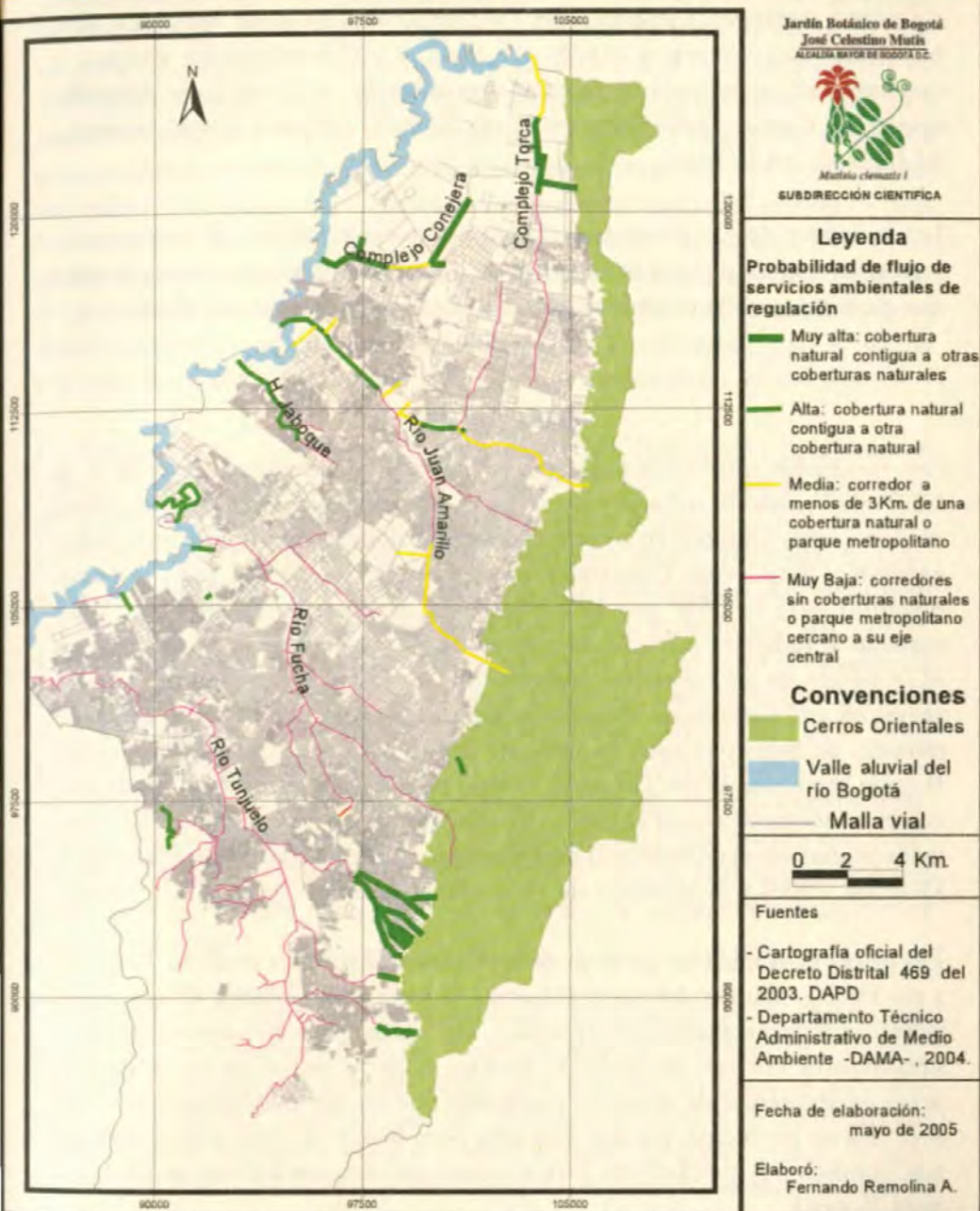
1. Microescala

Los corredores de la EEP tienen capacidad diferencial de flujo de los servicios ambientales de sustento dependiendo en buena medida de la distancia existente entre los ecosistemas naturales generadores de servicios ambientales de sustento. La figura 4 presenta el resultado de la aplicación de la matriz de decisión que se encuentra en la tabla 1, la cual toma como criterios la distancia del corredor a los ecosistemas que lo nutren con servicios ambientales y tipo de elemento de la EEP.

Las subredes río Tunjuelo y río Fucha no tienen áreas naturales a lo largo de su recorrido por la malla vial urbana, lo cual les resta importancia como corredores ecológicos porque son muy bajas las probabilidades de que un servicio ambiental de regulación o sustento corra a través de ellos.



Figura 4. Probabilidad de flujo de servicios ambientales de regulación para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá en el contexto urbano y periurbano



Mapa: Fernando Remolina



Las subredes de humedal de Jaboque y el río Juan Amarillo tienen coberturas naturales en diferentes grados de conservación, dándoles relevancia como conectores porque hay fuentes generadoras de servicios ambientales que corren a través de ellos. La diferencia en cuanto a conectividad estructural entre estas dos subredes es el río Juan Amarillo enlaza los Cerros Orientales con el río Bogotá, mientras que el humedal de Jaboque no lo hace.

Las subredes de los humedales Torca y Conejera son las de mayor relevancia ecológica porque la mayoría de sus elementos son áreas naturales que generan servicios ambientales de sustento y facilitan su flujo.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran la limitada conectividad espacial de la EEP en el contexto urbano y periurbano. El bajo porcentaje de circuncidad evidencia que un bloqueo o rompimiento de algunos de los conectores que enlazan a los Cerros Orientales con el río Bogotá tenga gran impacto negativo para la EEP por la inexistencia de conectores alternos. Esto sumado al reducido número de coberturas naturales que se encuentran en el recorrido de las subredes, muestra que la calidad y cantidad de flujo de servicios ambientales de sustento o regulación sean actualmente bajas. El páramo de Sumapaz está frágilmente unido a Cerros Orientales y al río Bogotá mediante el río Tunjuelo, el cual pierde gran parte de su potencial como conector al entrar al casco urbano porque en él se vierten 616 toneladas diarias de sedimentos (Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000) y la invasión de viviendas a lo largo de su ronda hídrica.

Las pocas posibilidades de flujo de servicios ambientales en el río Tunjuelo y río Fucha - dentro del casco urbano - le resta posibilidades de ser corredores ecológicos reales o potenciales. Sin embargo, estos conectores son importantes por ser las mayores fuentes hídricas naturales en la ciudad, servicio ambiental de aprovisionamiento que en sus condiciones actuales son más un problema que una solución pero que si cambian positivamente sus condiciones pueden ser vistos como un recurso hídrico importante para Bogotá.



Las subredes de la Conejera y Torca están conformadas en su mayoría por coberturas naturales con pequeñas porciones inmersas en malla vial densa, lo cual permite inferir que la calidad y cantidad de flujo de servicios ambientales de sustento y regulación son mayores que el resto de subredes de la EEP. El relativo buen estado de las coberturas vegetales que componen estas dos subredes y el no estar inmersas en la malla vial densa se explica porque éstas se encuentran en el área periurbana. Es por esto que las subredes de la Conejera y Torca son las de mayor prioridad ecológica para la ciudad con fines de formar verdaderos corredores ecológicos. Una de las primeras acciones para convertir estas dos subredes en corredores ecológicos es preservar estos ecosistemas y diseñar corredores de restauración y zonas amortiguadoras que permitan conectar estos ecosistemas, con el fin de reforzar la conectividad actual entre Cerros Orientales y el río Bogotá.

La subred del río Juan Amarillo tiene diferentes potenciales para flujo de servicios ambientales de sustento o regulación. Es así como el canal Molinos tiene alta probabilidad de convertirse en un corredor ecológico por la corta distancia en que une los Cerros Orientales con el Humedal de Córdoba. Otro segmento de esta subred con alta probabilidad de convertirse en un corredor ecológico es el canal Arzobispo, porque une los Cerros Orientales a la altura del Parque Nacional Olaya Herrera con el campus de la Universidad Nacional de Colombia y el Parque Central Simón Bolívar. Aunque el campus de la Universidad Nacional no es elemento de la EEP, sus 75 hectáreas en áreas verdes le dan gran potencial para convertirse en un estribón que ofrezca alimento y refugio a la avifauna en el centro geográfico del casco urbano bogotano. Finalmente, los otros canales que componen el río Juan Amarillo no tienen gran potencial para ser corredores ecológicos porque no hay coberturas naturales ni parques metropolitanos cercanos a ellos.

Los objetivos de conservación que buscan las propuestas de “estructura ecológica” en Colombia y el de “redes ecológicas” en Europa son muy similares, pero hay una gran distancia entre los avances técnicos para evaluar su efectividad. Mientras que en Colombia el análisis de conectividad en un área de estudio se efectúa a nivel espacial, es decir, basado en métricas aplicadas a un mosaico territorial, en Europa se evalúa primero a nivel funcional, es decir, movimiento de especies seleccionadas bajo dife-



rentes criterios, para luego hacer el análisis espacial de los hábitats que utilizan estas especies. Es por esto que los resultados de evaluación de conectividad obtenidos en Colombia no pueden compararse con las experiencias europeas en este tema.

CONCLUSIONES

La Estructura Ecológica Principal de Bogotá en el contexto urbano y periurbano tienen baja conectividad, lo cual se refleja en la existencia de seis subredes (río Tunjuelo, río Fucha, río Juan Amarillo, humedal de Jaboque, complejo La Conejera y complejo humedales Torca y Guaymaral) desconectadas unas de otras. Estas subredes son frágiles porque sus conexiones tanto con los Cerros Orientales como con el Valle Aluvial del río Bogotá dependen de uno o dos conectores.

Las subredes con mayor conectividad son los ríos Tunjuelo y Fucha, las cuales no tienen una importante calidad y cantidad de flujo de servicios ambientales de sustento o regulación porque no existen coberturas naturales en su recorrido y atraviesan 17 y 25 Km. de la malla vial densa respectivamente.

Las subredes de La Conejera y Torca son frágiles por su baja circuicidad y conectividad pero son las que tienen mayor número y mejores conectores (coberturas naturales) dándoles altas probabilidades de hacer fluir servicios ambientales de sustento o regulación desde los Cerros Orientales hasta el río Bogotá. Adicionalmente, estas dos subredes se encuentran conglomeradas en una pequeña área (zona norte de Bogotá), facilitando el fluido de servicios ambientales de sustento o regulación a través de ellas. Estas características hacen de la zona Norte de Bogotá el lugar de mayor prioridad y con las mejores perspectivas en la ciudad para construir un corredor ecológico a nivel periurbano.

La subred del río Juan Amarillo tiene sectores con alto potencial de convertirse en corredores por la contigüidad o cercanía a coberturas naturales o parques metropolitanos.



Agradecimientos

Doctor Carlos Rodríguez por su ofrecimiento para conducir este estudio. Doctora Claudia Córdoba García revisó la primera versión del artículo. Doctor Rolando Higueta Rodríguez por su gentil apoyo logístico durante este proyecto. Germán Andrade y el par evaluador contribuyeron con sus sugerencias a mejorar sustancialmente este manuscrito. Kathryn González revisó y mejoró la versión final. Victoria Angarita y Verónica Camargo por su comprensión y apoyo. En memoria del profesor Ciro Angarita Barón.

Bibliografía

- Bennett, A., 2003. *Linkages in the landscape: the Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. IUCN (Eds.), Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 254 Pp.
- Bloemmen, M., and T. van der Sluis (eds.), 2004. *European corridors-example studies for the Pan-European Ecological Network*. Wageningen, Alterra, Alterra report 1087. 102 Pp.
- Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000. *Documento Técnico de Soporte del Plan de Ordenamiento de Bogotá*. Departamento Administrativo de Planeación Distrital (Ed.), Bogotá. 486 Pp.
- Dramstad W., J. Olson, & Forman R., 1996. *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*. Island Press. Washington D. C., 80 Pp.
- Forman, R. 1998. *Land Mosaics: The ecology of Landscape and Regions*. Cambridge University Press. Tercera Reimpresión. Pp. 632.
- Jongman, R., M. Kulvik, & I. Kristiansen. 2004. *European ecological networks and greenways*. Landscape and Urban Planning 68:305-319.
- Grift, E. van der, and T. van der Sluis, 2003. *Design of an ecological network for Piano di Navelli (Abruzzo); Networks for LIFE*. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-report 764A. 44 Pp.
- Lowe, J. & S. Moryadas, 1975. *The Geography of Movement*. Houghton Mifflin Company (Eds.). Reprinted. Illinois, USA. 333 Pp.



- Millenium Ecosystem Assessment**, 2003. *Ecosystems and Human Well-Being: a Framework for assessment*. Island Press. 245 Pp.
- Rooij, S., T. van der Sluis, E. Steingrovër**, 2003. *Networks for life; Development of an ecological network for Persiceto (Emilia-Romana, Italy)*. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-report 729. 65 Pp.
- Sluis T. van der, B. Pedroli, H. Kuipers**, 2001. *Ecological Network Analysis Regione Emilia-Romagna – the plains of Provincia di Modena and Bologna*. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-report 365. 80 Pp.
- Sluis T. van der, R. Bunce, H. Kuipers, J. Dirksen**, 2003. *Corridors for LIFE: ecological network analysis for Cheschire County(UK)*. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-report 698. 72 Pp.
- Taaffe, E., H. Gauthier, M. O'Kelly**. 1996. *Geography of Transportation*. Prentice Hall (Eds.). Second Edition. New Jersey. 422 Pp.
- Turner M., R. Gardner, and R. O'Neil**, 2003. *Landscape Ecology in Theory and Practice: pattern and process*. Springer Verlag (Ed.). New York. 401 Pp.
- Van der Hammen T.**, 1998. *Estudio de la Cuenca Alta del Río Bogotá*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (Eds.) Bogotá.
- Van der Hammen T. & G. Andrade**. 2003. *Estructura Ecológica Principal de Colombia*. IDEAM (Eds.). Bogotá. 74 Pp.
- Van Lier, H.** *Ecological Networks as a concept: recent development in the Netherlands*. Ponencia en las Primeras Jornadas Argentinas de Ecología del Paisaje. Buenos Aires, Noviembre 2 a 4 de 2005.
- WWF Russia**, 2003. *Ecological Networks in Russia: an ecological approach*. WWF (Eds.) Moscow, Russia. 32 Pp.