

# Estado de la conectividad del paisaje en la Estructura Ecológica Principal de Bogotá y el potencial aporte de los parques urbanos

Kristian Rubiano<sup>Ø</sup> 

## Resumen

Bogotá se ubica en un área de gran biodiversidad y se enfrenta al desafío de mitigar la fragmentación y la pérdida de conectividad del paisaje, que afectan a la biodiversidad y a los procesos ecológicos. Con este fin se estableció la Estructura Ecológica Principal (EEP), pero se desconoce en profundidad su estado actual de conectividad. El objetivo de esta investigación fue evaluar la configuración espacial y la conectividad del paisaje en la EEP de Bogotá e identificar el potencial que tendrían los parques urbanos de menor tamaño para mejorarlas en áreas prioritarias. Tomando como referencia datos geoespaciales de la EEP y de los parques urbanos vecinales y de bolsillo, se analizó la configuración espacial de la EEP mediante métricas del paisaje y su conectividad a través del Área Conexa Equivalente (ECA) a nivel regional y local. Los resultados muestran el estado actual de configuración y conectividad de la EEP y resaltan la importancia de los parques urbanos vecinales y de bolsillo como elementos tipo *Stepping Stone* para maximizar la conectividad en áreas de la ciudad en las que la EEP tiene poca o nula representación. Los resultados permiten identificar áreas y acciones prioritarias para la conservación de la biodiversidad.

**Palabras clave:** biodiversidad, conectividad, Estructura Ecológica Principal, fragmentación, paisaje, parques urbanos.

**Ideas destacadas:** artículo de investigación que evalúa la configuración y la conectividad del paisaje de la EEP en Bogotá, identifica áreas prioritarias para maximizar la conectividad del paisaje y analiza el aporte a la conectividad de los parques urbanos de menor tamaño.



RECIBIDO: 3 DE JUNIO DE 2022. | EVALUADO: 10 DE AGOSTO 2022. | ACEPTADO: 26 DE MAYO DE 2023.

## CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Rubiano, Kristian. 2025. "Estado de la conectividad del paisaje en la Estructura Ecológica Principal de Bogotá y el potencial aporte de los parques urbanos". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 34 (1): 240-257. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v34n1.103024>.

Ø Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Bogotá – Colombia. ✉ [krubiano@jbb.gov.co](mailto:krubiano@jbb.gov.co) – ORCID: 0000-0002-8936-2037.

✉ Correspondencia: Kristian Rubiano, Av. Calle 63 # 68-95, Subdirección Científica, Bogotá, Colombia.

## State of Landscape Connectivity in the Main Ecological Structure of Bogotá and the Potential Contribution of Urban Parks

### Abstract

The city of Bogotá is situated within an area of exceptional biodiversity, which presents a significant challenge in the form of the reduction of fragmentation and loss of landscape connectivity. This, in turn, has an impact on biodiversity and ecological processes. For this purpose, the Main Ecological Structure (EEP) was established; however, the current state of its connectivity remains unknown. The objective of this research was twofold: firstly, to evaluate the spatial configuration and connectivity of the landscape in the EEP of Bogotá; and secondly, to identify the potential contribution that smaller urban parks could make in improving priority areas. The spatial configuration of the EEP was analyzed using landscape metrics, with geospatial data from the EEP and neighbouring urban and pocket parks serving as a reference. Connectivity was evaluated through the Equivalent Connected Area (ECA) at the regional and local levels. The findings illustrate the present configuration and connectivity of the EEP, emphasizing the significance of local and pocket urban parks as stepping-stone elements to enhance connectivity in areas where the EEP is underrepresented. The results contribute to the identification of priority areas and actions for biodiversity conservation.

**Keywords:** biodiversity, connectivity, Main Ecological Structure, fragmentation, landscape, urban parks.

**Highlights:** research article that evaluates the configuration and connectivity of the landscape of the EEP in Bogotá, identifies priority areas to maximize landscape connectivity and analyzes the contribution to connectivity of smaller urban parks.

## Estado da conectividade da paisagem na principal estrutura ecológica de Bogotá e a contribuição potencial dos parques urbanos

### Resumo

Bogotá está localizada numa área de elevada biodiversidade e enfrenta o desafio de mitigar a fragmentação e a perda de conectividade da paisagem, que afetam a biodiversidade e os processos ecológicos. Para esse efeito, foi estabelecida a Estrutura Ecológica Principal (EEP), no entanto, o seu estado atual de conectividade é desconhecido em profundidade. O objetivo deste estudo foi avaliar a configuração espacial e a conectividade da paisagem na EEP de Bogotá e identificar a contribuição potencial que os parques urbanos de menor dimensão podem oferecer para melhorar a situação em áreas prioritárias. A configuração espacial do EEP foi analisada por meio de métricas de paisagem e a sua conectividade através da Área Conectada Equivalente (ECA) nos níveis regional e local, utilizando como referência dados geoespaciais do EEP e dos parques urbanos de bairro e bolso. Os resultados apresentam o estado atual da configuração e conectividade da EEP, e destacam a importância dos parques urbanos de bairro e bolso como elementos do tipo *Stepping Stone* para maximizar a conectividade em áreas da cidade em que a EEP tem pouca ou nenhuma representação. Os resultados contribuem para a identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade.

**Palavras-chave:** biodiversidade, conectividade, Estrutura Ecológica Principal, fragmentação, paisagem, parques urbanos.

**Ideias destacadas:** artigo de pesquisa que avalia a configuração e conectividade da paisagem da EEP em Bogotá, identifica áreas prioritárias para maximizar a conectividade da paisagem e analisa a contribuição para a conectividade de parques urbanos menores.

## Introducción

La urbanización es el caso más drástico de la transformación de los ecosistemas naturales como consecuencia del cambio en el uso y la cobertura de la tierra (Foley et ál. 2005; Ellis y Ramankutty 2008). Como resultado, se generan las áreas urbanas en las que domina una matriz heterogénea de elementos artificiales y en las que las áreas verdes y los elementos naturales ocupan una menor proporción del paisaje (Godefroid y Koedam 2007; Breuste, Niemelä y Snep 2008). Esta reducción y fragmentación de los ecosistemas naturales modifica la estructura del paisaje en dos componentes: la composición, entendida como la abundancia de los diferentes tipos de elementos en el paisaje, y la configuración, entendida como el arreglo o contexto espacial de estos elementos (With 2019). A su vez, modifican su función, lo que repercute en las condiciones abióticas, los ciclos biogeoquímicos y otros flujos ecológicos (García-Leoz et ál. 2018). Todo esto tiene implicaciones ecológicas a diferentes niveles que repercuten tanto en la calidad de vida de los ciudadanos como en la biodiversidad y los procesos ecológicos (Ellis y Ramankutty 2008; Foley et ál. 2005).

La urbanización afecta particularmente a la biodiversidad a través de una serie de mecanismos, entre los que destacan la fragmentación y reducción de la conectividad estructural y funcional del hábitat (Williams et ál. 2009; Aronson et ál. 2016). La matriz urbana se caracteriza por ser altamente hostil y poco permeable para la fauna, ya que presenta marcadas diferencias respecto a los hábitats naturales, lo que restringe la capacidad de movimiento de la mayoría de las especies, que son incapaces de desplazarse a través de ella (Tannier, Foltête y Girardet 2012). Por esta razón, es fundamental mantener cierto grado de conectividad entre las áreas verdes y los remanentes de ecosistemas naturales, de modo que actúen como una red de parches y corredores que faciliten la movilidad de los individuos y la viabilidad de las poblaciones (Chang et ál. 2011).

Las ciudades ubicadas en áreas con altos niveles de biodiversidad enfrentan grandes desafíos de planificación y gestión del territorio para mitigar los efectos de la fragmentación y pérdida del hábitat sobre la biodiversidad (Pauchard y Barbosa 2013). Por ejemplo, la ciudad de Bogotá se localiza en los Andes colombianos, que son considerados un *hotspot* de biodiversidad por sus altos valores de endemismo y diversidad (Myers et ál. 2000). Esta ciudad y su área metropolitana han experimentado un fuerte crecimiento demográfico, con cerca de nueve

millones de habitantes, lo que genera una gran presión sobre los ecosistemas circundantes y las especies que los habitan (Pauchard y Barbosa 2013; Cristancho y Triana 2018). Un ejemplo es la reducción significativa de los humedales que ha experimentado la ciudad, lo que ha puesto en riesgo a especies endémicas representativas de la región y a especies migratorias que encuentran refugio y descanso durante sus viajes (Cortés Ballén 2018).

Esta reducción de ecosistemas estratégicos ha marginado a pequeños remanentes inmersos en la ciudad y en las áreas circundantes del Distrito Capital. En general, las coberturas vegetales urbanas se asemejan, ya que están inmersas en una matriz urbana altamente impermeable y agresiva para muchas especies (Isaacs y Jaimes 2014). Por esta razón, mantener la conectividad de estos elementos naturales y seminaturales, entendida como la característica que permite que las especies se desplacen y se dispersen a través del paisaje, facilitando así el intercambio genético y otros procesos ecológicos (Saura, González y Rossellò 2011), es fundamental para la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad (Correa et ál. 2016).

Por este motivo, es necesario establecer una serie de elementos paisajísticos que ayuden a mitigar los efectos negativos de la fragmentación, los cuales se agrupan en la denominada Estructura Ecológica Principal (EEP). Dicha estructura, establecida con el objetivo central de conservar, sostener y conducir la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales para el desarrollo sostenible de Bogotá (Isaacs y Jaimes 2014), se ha integrado en el ordenamiento territorial de la ciudad. Algunos elementos verdes de la ciudad, como pequeños parques urbanos, no han tenido la importancia que podrían tener en la ordenación y planificación de la ciudad para mejorar la conectividad ecológica. Este es el caso de los parques vecinales y de bolsillo, que se caracterizan por tener áreas inferiores a 1 ha y se destinan principalmente a la recreación y el aprovechamiento de los ciudadanos (Secretaría Distrital de Planeación 2009). Sin embargo, se ha demostrado que estos elementos albergan múltiples especies de aves e insectos y que, por lo tanto, son una alternativa para la movilidad de estos organismos (Durán-Prieto, Tulande-Marin y Ocampo-Flóres 2020; Novoa Salamanca 2022).

En la ciudad de Bogotá y el Distrito Capital se han llevado a cabo algunas investigaciones que evalúan la estructura y la conectividad ecológica de sus áreas verdes y de la EEP, por ejemplo, Achicanoy, Rojas-Robles y Sánchez (2018), Correa-Ayram (2009), Cortes y Rubio (2016),

Isaacs-Cubides, Trujillo-Ortiz y Jaimes (2017), Isaacs y Jaimes (2014), y Ramírez et ál. (2008). Los trabajos realizados hasta la fecha se han centrado en algunas zonas concretas de la ciudad con un alto valor para la conservación, entre las que destacan la cuenca del río Tunjuelo y sus microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera.

Otras se han centrado en el análisis de barrios, particularmente en la localidad de Suba y su interfaz urbano-rural (Isaacs y Jaimes 2014; Correa-Ayram 2009). No hay análisis actualizados de la conectividad ecológica de las áreas verdes de toda la ciudad y el Distrito Capital disponibles en la literatura científica. Por lo tanto, se identificó la necesidad de estudiar la conectividad ecológica de la totalidad de los elementos de la EEP de Bogotá.

Del mismo modo, se observó que los parques vecinales y de bolsillo, que no forman parte de la Estructura Ecológica Principal de la ciudad, no han recibido atención en este tipo de análisis. Suministrar esta información será fundamental para conocer el estado actual de la conectividad ecológica de las áreas verdes de Bogotá y permitirá analizar el potencial que tienen algunas de estas áreas, comúnmente excluidas, como elementos importantes para la conectividad. En conjunto, esta información servirá de base para la toma de decisiones encaminadas a fortalecer las redes de conectividad ecológica de la ciudad y a mejorar la capacidad de conservación de la biodiversidad.

En este sentido, el objetivo general de este trabajo fue evaluar la configuración espacial y la conectividad del paisaje en la EEP de Bogotá. Para ello, fue necesario (i) identificar las áreas prioritarias para implementar acciones que mejoren la conectividad del paisaje; (ii) evaluar la contribución de los parques urbanos vecinales y de bolsillo a dicha conectividad y (iii) analizar las implicaciones de la configuración espacial y la conectividad del paisaje de las áreas verdes de la ciudad de Bogotá para la conservación de la biodiversidad.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Bogotá es la ciudad más grande y la capital de Colombia. Se ubica en la cordillera Oriental, en el centro del país, a una altitud media de 2.630 m. La precipitación media anual es de 1.000 mm y la temperatura varía entre los 12 °C y los 15 °C, por lo que se desarrolla en condiciones ambientales similares a las de un bosque andino (Barrera-Cataño et ál. 2010). Tiene una superficie

de aproximadamente 380 km<sup>2</sup> y su población supera los 8 millones de habitantes (Cristancho y Triana 2018).

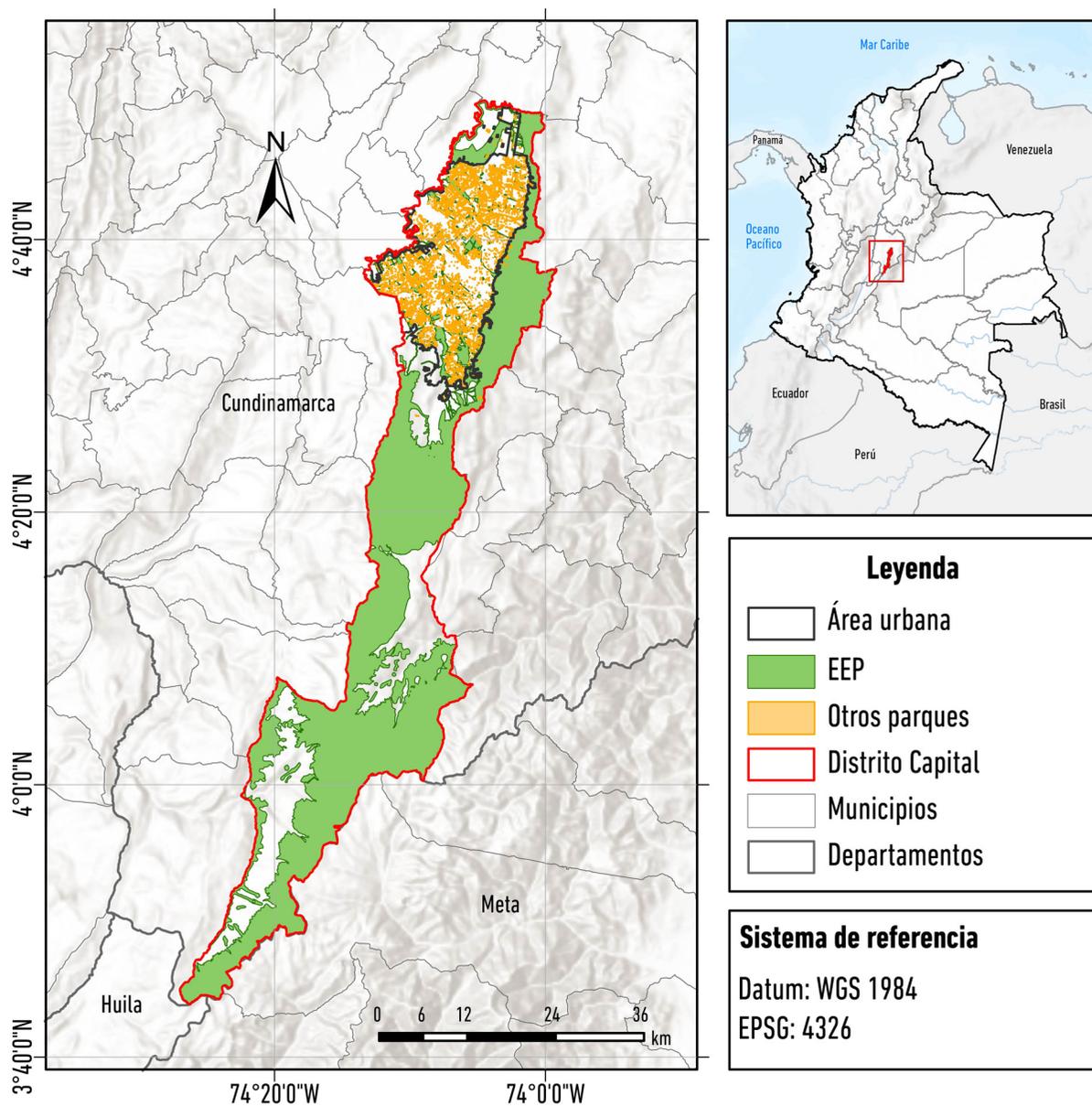
Bogotá ha experimentado una rápida expansión urbana y un crecimiento poblacional, en gran parte impulsado por la migración desde las áreas rurales hacia las urbanas (Aide y Grau 2004), debido a las deficiencias socioeconómicas, la falta de oportunidades en el campo y los años de conflicto armado (Ibáñez y Vélez 2008). Este fenómeno ha provocado una ocupación desordenada y descontrolada de la ciudad, especialmente en las zonas periféricas, lo que ha reducido las zonas no edificadas y ha relegado las áreas verdes y los espacios naturales a fragmentos de tamaño reducido dispersos por toda la ciudad (Romero Novoa 2010; Muñoz y Salas 2016).

Este proceso de expansión ha generado múltiples problemas ambientales, como el aumento de la contaminación y la proporción de superficies impermeables. Estas modificaciones han contribuido al incremento de la temperatura y al surgimiento de islas de calor en varias áreas de la ciudad, que pueden alcanzar hasta 3 °C más de temperatura que las zonas periféricas (Ángel, Ramírez y Domínguez 2010). Además, la urbanización desmedida ha limitado la disponibilidad de hábitats para las especies de Bogotá y sus alrededores, lo que ejerce una fuerte presión sobre la biodiversidad local (Isaacs y Jaimes 2014).

El estudio se centró en las áreas verdes de la ciudad que forman parte de la Estructura Ecológica Principal (EEP); así como, en los parques vecinales y de bolsillo, que son espacios verdes no incluidos dentro de los elementos de la EEP (Figura 1). Esta investigación permitió evaluar el estado actual de la conectividad ecológica y la función de estos espacios verdes en la preservación de la biodiversidad en el contexto urbano de Bogotá.

### Escenarios de análisis y datos de referencia

El análisis se basó en dos escenarios (Figura 1): (i) un escenario que analizó la estructura y conectividad de los elementos de la EEP y (ii) un escenario que analizó la estructura y conectividad de la EEP en conjunto con los parques urbanos vecinales y de bolsillo (EEP+Parques). Esto permitió evaluar la contribución de estos parques a la conectividad estructural a nivel de paisaje. Los datos espaciales de referencia para el análisis de estos escenarios consistieron en las capas geográficas de los elementos que componen la EEP, obtenidas del visor geográfico de la Secretaría Distrital de Ambiente (<https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/>). Adicionalmente, se incorporaron las capas geográficas de los parques urbanos cuyas categorías no están incluidas dentro de la EEP



**Figura 1.** Estructura Ecológica Principal y parques vecinales y de bolsillo de Bogotá.

Datos: Instituto Distrital de Recreación y Deporte (2020), Secretaria Distrital de Ambiente (2020) y Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (2020).

(parques vecinales y de bolsillo), obtenidas a través de la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) (<https://ideca.gov.co/>).

Para la preparación de los datos correspondientes a los escenarios de análisis, se fusionaron en una única capa geográfica las capas correspondientes a los elementos de la EEP y se generó una segunda capa geográfica que añadía los parques vecinales y de bolsillo. Para garantizar la estructura de datos requerida para los análisis se generó un identificador independiente para cada uno de

los polígonos de las capas, requisito para los análisis basados en datos vectoriales. Para los análisis basados en datos ráster, se realizó la rasterización de las capas de los escenarios usando un tamaño de píxel de 16 m<sup>2</sup> (4 m x 4 m), el cual se seleccionó para mantener de la manera más fiel posible la forma de los polígonos, mantener aquellos polígonos de poca área como el caso de los parques de bolsillo y garantizar la viabilidad del procesamiento de acuerdo con el recurso computacional disponible, el tamaño del área de estudio y el tamaño en disco ocupado por

los datos. La preparación de los datos se realizó usando el software ArcMap 10.7.

### Análisis de datos

Teniendo en cuenta los escenarios previamente planteados, se realizaron diferentes tipos de análisis a los datos a través de métricas del paisaje e índices de conectividad que sirvieron como indicadores para evaluar la configuración espacial y la conectividad de las áreas verdes de la ciudad de Bogotá y el Distrito Capital, así como el aporte de los parques vecinales y de bolsillo a la conectividad del paisaje como complemento a los elementos de la EEP (Calabrese y Fagan 2004; McGarigal 2013; Mcgarigal 2015; Correa et ál. 2016). Para analizar los cambios en la estructura espacial del paisaje entre los escenarios EEP y EEP+Parques se calcularon una serie de métricas del paisaje, tradicionalmente usadas para caracterizar el paisaje y conocer de manera general cuál es su estado en términos de fragmentación y conectividad.

Estas métricas se pueden agrupar en cinco categorías de acuerdo con el componente del paisaje que analizan: área-borde, forma, área de interior, contraste y agregación (McGarigal 2013). De estas categorías no se tuvieron en cuenta todas de acuerdo con el predominio del contexto urbano dentro del área de estudio y las características de las áreas verdes que se tomaron como parches en el presente estudio. Por tal razón se hizo especial énfasis en las métricas de área-borde, forma y agregación.

El primer grupo está estrechamente relacionado con el tamaño de los parches en el paisaje y su proporción de borde, aunque en el presente estudio se priorizaron las métricas relacionadas con el área. El segundo grupo se basa en la forma de los parches, que se ha identificado como un componente complementario a la forma en muchos procesos ecológicos en ambientes naturales y menos transformados. Finalmente, el último grupo comprende métricas de aislamiento, subdivisión y contagio, que tienen una gran importancia respecto a la fragmentación y la conectividad del paisaje.

Este primer análisis se realizó usando el software Fragstats 4.2 (Mcgarigal 2015) con los datos rasterizados, y el paquete Makurhini de R con los datos vectoriales (R Core Team 2020; Godínez-Gómez y Correa-Ayram 2022). Para caracterizar de manera general las variaciones del paisaje en los dos escenarios, se trabajó con métricas a nivel de paisaje. Dada la gran cantidad de métricas del paisaje que incorporan estos softwares, para su selección e interpretación se priorizó el criterio de la parsimonia (Cushman, McGarigal y Neel 2008).

Un segundo tipo de análisis se basó en el cálculo de métricas de aislamiento a nivel de parche, con el fin de determinar sus variaciones en los parches de la EEP al añadir los parques vecinales y de bolsillo. Estos análisis consistieron en la estimación de dos métricas: distancia euclidiana al vecino más cercano (ENN) e Índice de Proximidad (PROX). ENN es igual a la distancia euclidiana en metros al parche más cercano del parche focal, medida desde el centro del píxel de borde más cercano, y constituye la medida de aislamiento más simple pero más usada en el contexto de análisis de parches (Mcgarigal 2015). PROX por su parte, puede ser representado a través de la siguiente expresión:

$$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$$

En donde  $a_{ijs}$  es el área ( $m^2$ ) del parche  $ijs$  dentro del vecindario especificado para el parche  $ij$ , y  $h_{ijs}$  es la distancia (m) entre el parche  $ijs$  y el parche  $ij$  (Gustafson y Parker 1992). Este índice considera no solo la distancia entre parches, sino también el área de los parches que se encuentran dentro de un radio específico, que puede ser entendido como un rango de dispersión para las especies o grupo de especies de interés (Mcgarigal 2015).

Dado que el trabajo no tuvo como objetivo evaluar la estructura del paisaje o la conectividad para una especie o grupo de especies en particular, se usaron cuatro rangos de dispersión diferentes para los análisis (100 m, 200 m, 500 m y 1.000 m), con el fin de incluir diferentes posibilidades de dispersión teniendo en cuenta el contexto urbano y el tamaño del área de estudio (Herrera et ál. 2017). Al ser métricas calculadas para cada parche, fue posible aplicar pruebas estadísticas de comparación para determinar la significación de los cambios entre los dos escenarios. Se aplicaron pruebas estadísticas de Wilcoxon para muestras pareadas a los parches de la EEP para evaluar las diferencias en el valor de los índices entre los dos escenarios de análisis teniendo en cuenta los cuatro rangos de dispersión (Zar 2010).

Un tercer grupo de análisis se basó en el uso de métricas de conectividad, siguiendo la metodología aplicada por Herrera et al. (2017). Se usó el Área Conexa Equivalente (ECA), la cual se puede definir como el área de un parche totalmente conectado que ofrece la misma probabilidad de conectividad que la red de parches analizada (Saura, Gonzalez y Rossellò 2011; Saura et ál. 2011). Este índice se usó para evaluar las diferencias de conectividad (dECA)

entre los dos escenarios, tanto a nivel general del paisaje, como en un análisis espacialmente explícito usando una grilla de hexágonos de 1 km<sup>2</sup> (Birch, Oom y Beecham 2007; Rusche et ál. 2019), con el fin de identificar el dECA en cada hexágono y las zonas del área de estudio que podrían ser priorizadas para mejorar la conectividad. El cálculo de dECA para cada hexágono se realizó según lo propuesto por Saura et ál. (2011). Se seleccionó 1 km<sup>2</sup> como área para los hexágonos con el fin de tener un área significativa para detectar cambios y sensible a la escala de trabajo del área urbana de Bogotá.

Finalmente se usó el Índice Integral de Conectividad (IIC) (Pascual-Hortal y Saura 2006) para determinar la importancia o el aporte de cada parche a la conectividad del paisaje, calculada como la variación del IIC del paisaje (dIIC) al remover cada parche de manera iterativa y evaluar la reducción de conectividad (Hanski y Ovaskainen 2000; Saura y Rubio 2010; Herrera et ál. 2017):

$$dIIC_k = 100 \times \frac{IIC - IIC_{Removido,k}}{IIC}$$

En donde  $dIIC_k$  es la importancia del parche  $k$  para el mantenimiento de la conectividad del paisaje,  $IIC$  es el valor del Índice Integral de Conectividad del paisaje incluyendo todos los elementos (inclusive  $k$ ), y  $IIC_{Removido,k}$  es el valor del índice luego de remover  $k$ . Los valores de dIIC de un parche se pueden descomponer en tres fracciones (intra, flux y connector), reflejando la forma en la que un elemento  $k$  del paisaje contribuye a la conectividad (Hanski y Ovaskainen 2000; Saura y Rubio 2010; Herrera et ál. 2017):

$$dIIC_k = dIICintra_k + dIICflux_k + dIICconnector_k$$

$dIICintra_k$  representa el aporte del parche  $k$  respecto a la conectividad al interior del parche, la cual está directamente relacionada con la cantidad de área al interior del parche, por lo que no influye en la conectividad con los demás parches.  $dIICflux_k$  evalúa qué tan bien conectado está el parche  $k$  a los demás elementos del paisaje.  $dIICconnector_k$  mide la importancia de  $k$  para mantener la conectividad de los demás parches; es decir, qué tanto contribuye a la conectividad del paisaje como un elemento tipo *Stepping Stone* (Saura y Rubio 2010; Herrera et ál. 2017). Puntualmente, un elemento tipo *Stepping Stone* es aquel que facilita el enlace entre pares de parches o nodos en el paisaje al ofrecer un punto intermedio entre ellos, aumentando así la posibilidad de que un organismo se desplace entre dicho par de parches incluso si su

rango de movimiento no es suficiente para desplazarse directamente entre ellos (Saura, Bodin, y Fortin 2014).

Los tres análisis que se agrupan en el último conjunto de análisis se realizaron para los rangos de dispersión previamente definidos, pero en el caso del análisis de ECA del paisaje para los dos escenarios, se adicionaron dos rangos de dispersión (5.000 m y 10.000 m) para visualizar mejor los cambios. Este tercer grupo de análisis se realizó usando el paquete Makurhini en el entorno estadístico de R (Godínez-Gómez y Correa-Ayram 2022).

## Resultados

### Configuración del paisaje

De las métricas del paisaje que se calcularon para los diferentes componentes que caracterizan el paisaje, se seleccionaron las métricas más importantes buscando reducir la redundancia, aportar información relevante y sintética para la comparación de los escenarios de análisis, teniendo en cuenta las características de los parches que se analizan en el contexto de la matriz urbana que domina en el área de estudio. La Tabla 1 muestra los valores de las métricas más importantes para los escenarios EEP y EEP+Parques; así como, el tipo de datos usado para obtener esos valores, teniendo en cuenta que se calcularon diferentes métricas e índices usando tanto datos vectoriales, como datos ráster.

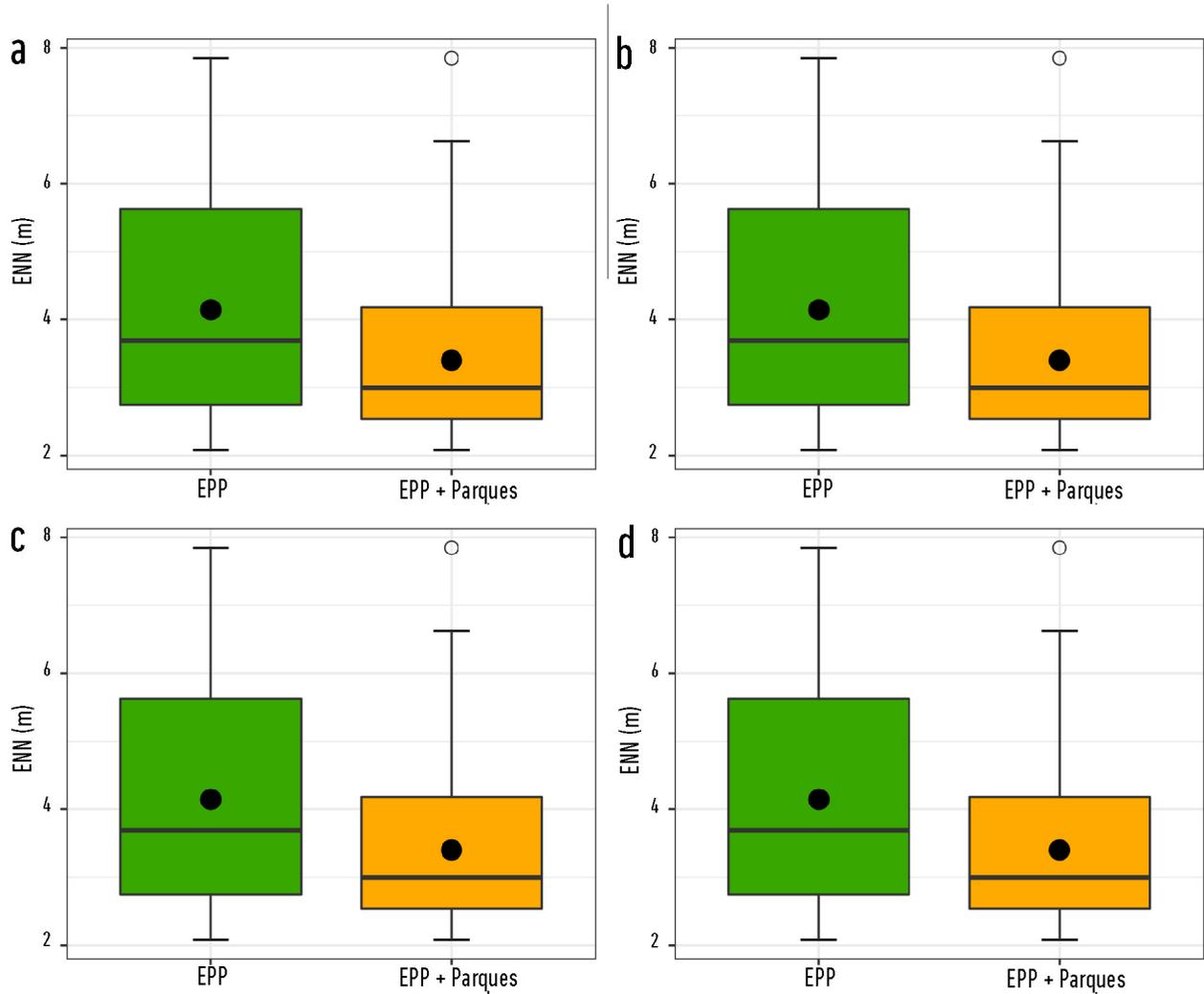
Los parques vecinales y de bolsillo contribuyeron a aumentar en aproximadamente 18 km<sup>2</sup> la disponibilidad de áreas verdes como complemento a los elementos de la EEP. Esta superficie se traduce en un aumento de 6.587 parches adicionales, pasando de 246 parches de la EEP a 6.833 parches incluyendo los parques vecinales y de bolsillo. De igual manera este incremento en el número de parches representó una disminución en su tamaño medio, pasando de 3.929 km<sup>2</sup> a 0,144 km<sup>2</sup>. Métricas como Cority y Effective Mesh Size que son indicadores de conectividad, también presentaron variaciones al disminuir su valor luego de añadir los parques vecinales y de bolsillo. Un comportamiento similar presentó el índice de forma.

### Análisis a nivel de parches

Los resultados de este grupo de análisis permitieron identificar cambios de ENN (Figura 2) y PROX (Figura 3) para las cuatro distancias de dispersión al incluir los parques vecinales y de bolsillo. Las pruebas estadísticas de Wilcoxon para datos pareados fueron en todos los casos significativas para los cambios de ENN (100 m:

**Tabla 1.** Resultados de algunas de las métricas más relevantes para la comparación de los escenarios de análisis

Métrica	EPP	EPP+Parques	Tipo de datos
Área de parches (km <sup>2</sup> )	966.497	984.249	Vectorial
Número de parches	246	6.833	Vectorial
Tamaño medio de parche	3.929	0,144	Vectorial
Cority	0,776	0,313	Vectorial
Effective Mesh size (km <sup>2</sup> )	839.772	824.626	Vectorial
Índice de forma medio	2,1699	1,5712	Ráster

**Figura 2.** Boxplots comparando ENN para los escenarios EPP y EPP+Parques en los cuatro rangos de dispersión (A: 100 m; B: 200 m; C: 500 m; D: 1.000 m).

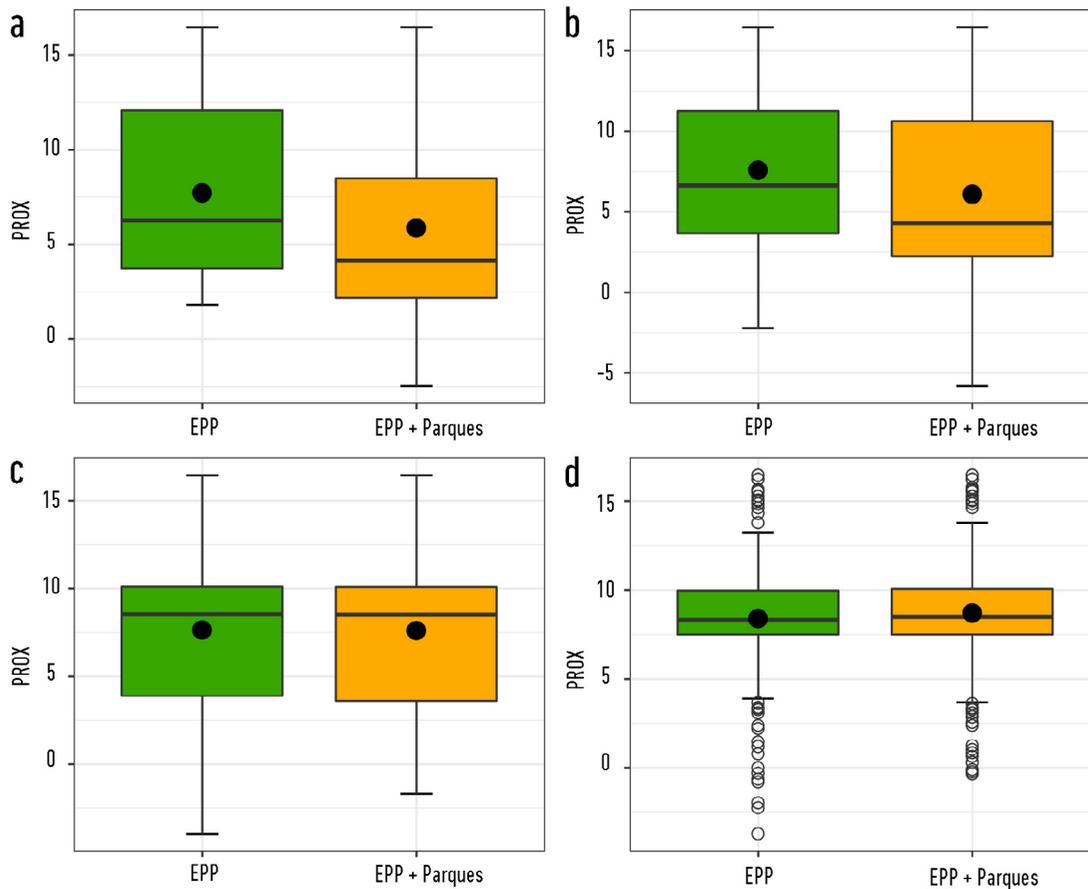
Nota: los datos se presentan en escala logarítmica para facilitar su visualización y análisis. Los puntos negros indican la posición de la media.

$W_{(143)} = 1.830$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,56$ ; 200 m:  $W_{(143)} = 1.830$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,56$ ; 500 m:  $W_{(143)} = 1.830$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,57$ ; 1.000 m:  $W_{(143)} = 1.830$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,56$ ). Los cambios de PROX fueron igualmente significativas para todos los casos (100 m:  $W_{(143)} = 0$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,73$ ; 200 m:  $W_{(143)}$

$= 0$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,82$ ; 500 m:  $W_{(143)} = 0$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,85$ ; 1000 m:  $W_{(143)} = 0$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,85$ ).

### Área conexa equivalente del paisaje

La Tabla 2 sintetiza los resultados de los análisis comparativos de ECA entre escenarios para los seis



**Figura 3.** Boxplots comparando PROX para los escenarios EPP y EPP+Parques en los cuatro rangos de dispersión (A: 100 m; B: 200 m; C: 500 m; D: 1.000 m).

*Nota:* los datos se presentan en escala logarítmica para facilitar su visualización y análisis. Los puntos negros indican la posición de la media.

rangos de dispersión analizados. Los datos del escenario de referencia (EEP) indican que hay una diferencia de aproximadamente 41 % entre el tamaño del área de estudio y el tamaño de la EEP, y 45 % entre el tamaño del área de estudio y área conexas equivalente de la EEP. La inclusión de los parques vecinales y de bolsillo contribuyó en un aumento de 1,86 % del área cubierta por áreas verdes en el Distrito Capital, pasando de aproximadamente 96.650 ha a 98.450 ha. Para todos los rangos de dispersión se presentaron pequeñas ganancias de ECA (dECA) que no superaron la ganancia de área (dA).

### **Análisis espacialmente explícitos del área conexas equivalente**

Los análisis espacialmente explícitos permitieron identificar áreas con falencias de conectividad, que pueden ser usadas como áreas focales o prioritarias para la implementación de acciones que permitan mejorar la conectividad del área de estudio. Adicionalmente, permitieron identificar

el aporte de los parques vecinales y de bolsillo a la conectividad local dentro de los hexágonos. Los resultados para los cuatro rangos de dispersión analizados se presentan en la Figura 4. Los valores más bajos de ECA se concentraron en el área urbana en donde existe un predominio de la matriz urbana que relega las áreas verdes a fragmentos pequeños y relativamente aislados. La inclusión de los parques vecinales y de bolsillo incrementó los valores de ECA en algunos hexágonos, particularmente concentrados en aquellas áreas urbanas en donde los elementos de la EEP no se encuentran bien representados.

### **Importancia de los parches individuales para la conectividad del paisaje**

La mayor contribución de un parche individual para el mantenimiento de la conectividad del paisaje de acuerdo con los valores de dIIC, corresponde a un parche de la EEP con una contribución de 99,8 % en todos los rangos de dispersión analizados. Los demás parches tienen valores de dIIC menores al 1 %. La descomposición de dIIC, indica que los parches

**Tabla 2.** Resultados de los análisis comparativos de ECA entre escenarios para seis rangos de dispersión

Escenario	Área (ha)	ECA (ha)	Distancia	ECA normalizado	dA	dECA
EPP	96.649,92	90.097,66	100	93.221	-40.889	-44.896
EEP+Parques	98.448,79	90.099,62	100	91.519	1.861	0,002
EPP	96.649,92	90.097,66	200	93.221	-40.889	-44.896
EEP+Parques	98.448,79	90.099,64	200	91.519	1.861	0,002
EPP	96.649,92	90.097,66	500	93.221	-40.889	-44.896
EEP+Parques	98.448,79	90.101,55	500	91.521	1.861	0,004
EPP	96.649,92	90.097,87	1.000	93.221	-40.889	-44.896
EEP+Parques	98.448,79	90.104,73	1.000	91.524	1.861	0,008
EPP	96.649,92	90.109,32	5.000	93.233	-40.889	-44.889
EEP+Parques	98.448,79	90.125,00	5.000	91.545	1.861	0,017
EPP	96.649,92	90.112,78	10.000	93.236	-40.889	-44.887
EEP+Parques	98.448,79	90.133,27	10.000	91.553	1.861	0,023

*Nota:* dA: variación en superficie de áreas verdes entre escenarios. dECA: variación en área conexas equivalente entre escenarios, ECA (%) representa el porcentaje de áreas verdes que se encuentra bien conectada o representada como área conexas equivalente.

en conjunto para el escenario EEP+Parques contribuyen a la conectividad principalmente a través de dIICconnector, seguido por dIICintra en todos los rangos de dispersión (Figura 5). Al analizar el aporte de los elementos de la EEP y los parques vecinales y de bolsillo de manera independiente, estos últimos contribuyen en mayor medida a la conectividad del paisaje (Figura 6). La descomposición del aporte de la EEP a la conectividad del paisaje indica que su principal contribución es a través de dIICintra con aproximadamente 95,5 %, seguido por dIICconnector con 4,5 % (Tabla 3). En el caso de los parques urbanos el 100 % de su aporte lo hacen a través de dIICconnector.

## Discusión

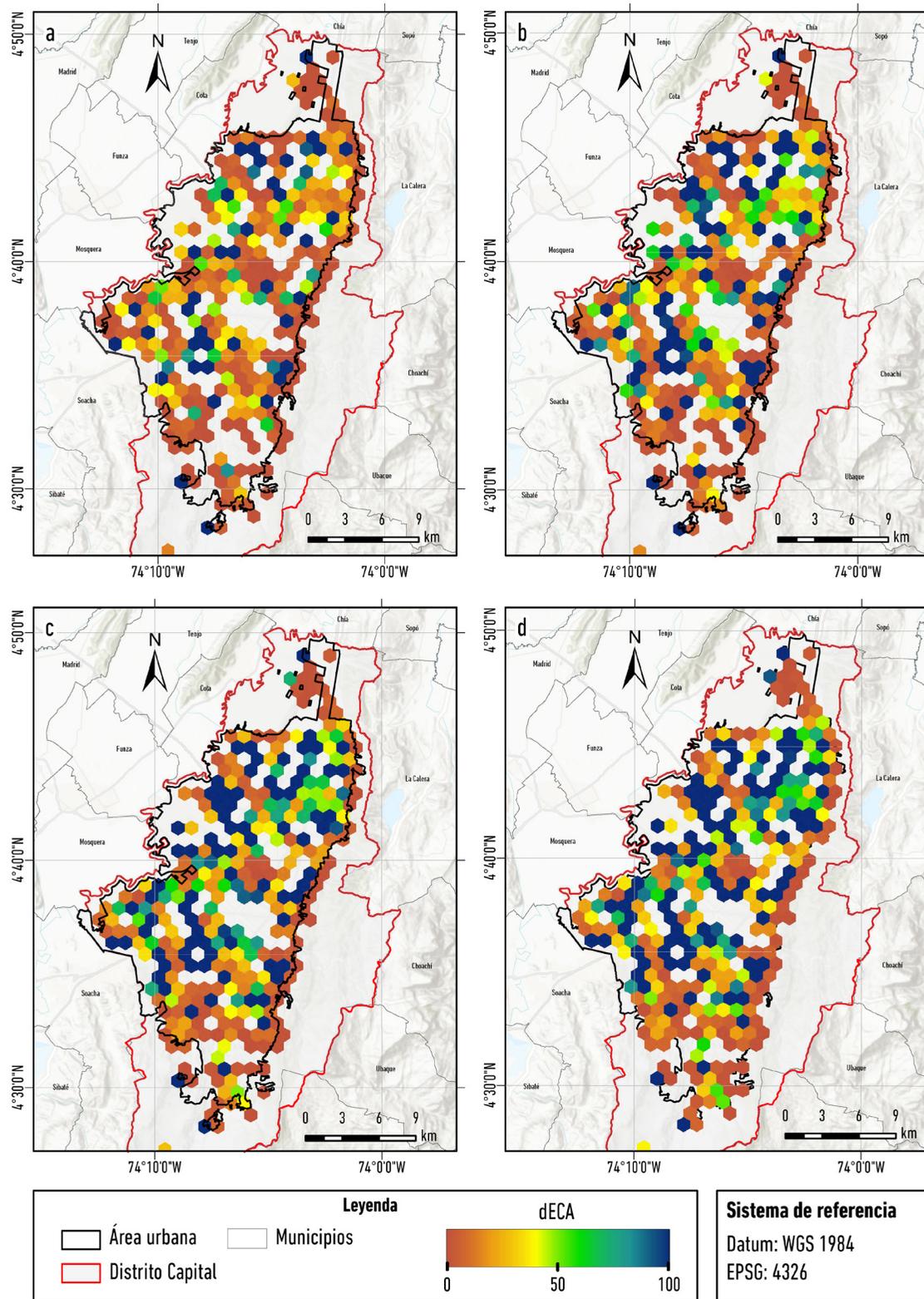
### Configuración del paisaje

Los resultados de este grupo de análisis reflejan que tal como se esperaba, la inclusión de diferentes elementos tipo parche al paisaje cambia sus características. El aumento en el número de parches más pequeños, como consecuencia de la inclusión de los parques vecinales y de bolsillo, tuvo repercusiones en las métricas que se midieron, particularmente en aquellas que son más sensibles al incremento en el número de parches y la disminución de su tamaño. Las métricas que tradicionalmente se han usado para caracterizar el paisaje en términos de fragmentación y aislamiento son particularmente sensibles

a esta condición, y es por tal razón que no se ajustan adecuadamente al análisis basado en los escenarios planteados (McGarigal 2013). La teoría de la ecología del paisaje, cuyos principios se han aplicado tradicionalmente al análisis de áreas más naturales que la estudiada aquí, particularmente áreas boscosas bajo procesos de perturbación, plantea que un incremento en el número de parches y una reducción en su tamaño es una evidencia de procesos de fragmentación que a su vez traen consigo reducción en la conectividad del hábitat (With 2019).

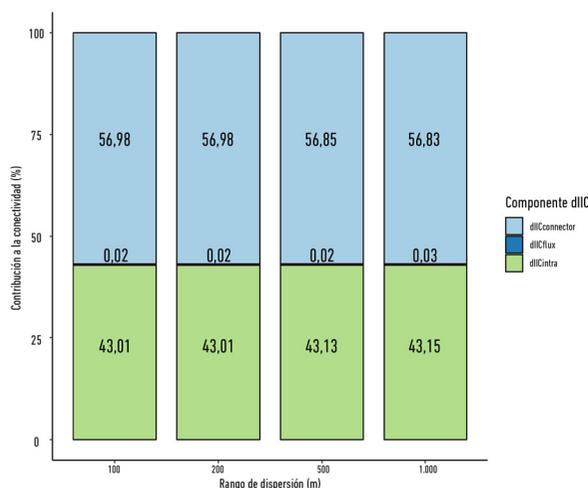
De allí se desprende que en términos de beneficio para la biodiversidad sea mejor un paisaje en donde hay menos parches, de mayor tamaño y más agrupados entre sí (Haddad et ál. 2015). Si se sigue esta misma lógica al presente estudio y se miden las mismas métricas e índices del paisaje, los resultados sugieren que al adicionar los 6.587 elementos correspondientes a los parques vecinales y de bolsillo, la calidad del paisaje se verá desmejorada en términos de fragmentación y conectividad del paisaje. Por tal razón estas métricas no permiten dar respuesta respecto al aporte de los parques vecinales y de bolsillo a la conectividad del paisaje. Sin embargo, se seleccionaron un grupo de métricas que permitieran la caracterización general del paisaje y la discusión de sus implicaciones para la biodiversidad (Cushman, McGarigal y Neel 2008).

Otro aspecto para tener en cuenta aquí, que influyó en la selección final de las métricas, es el concepto

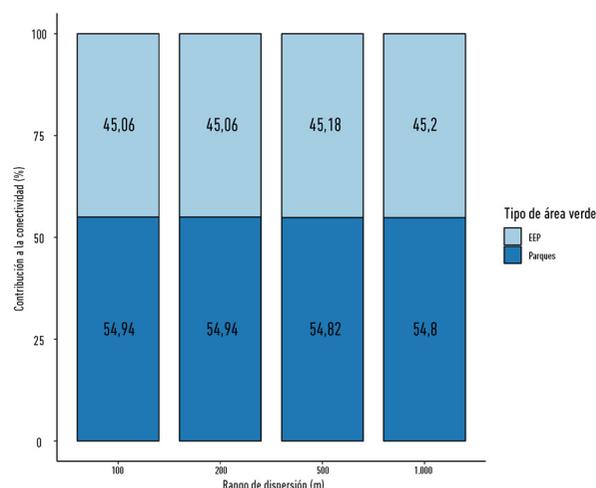


**Figura 4.** Ganancias de ECA (dECA) en el área urbana de Bogotá al incorporar los parques urbanos vecinales y de bolsillo para las cuatro distancias de dispersión analizadas.

*Nota:* a) distancia de dispersión de 100 m; b) distancia de dispersión de 200 m; c) distancia de dispersión de 500 m; d) distancia de dispersión de 1.000 m. Los hexágonos grises corresponden a áreas que no presentaron ganancias de ECA.



**Figura 5.** Contribución porcentual de los componentes del dIIC a la conectividad del paisaje para los parches del escenario EEP+Parques.



**Figura 6.** Contribución porcentual de los parches de la EEP y los parques urbanos a la conectividad del paisaje.

**Tabla 3.** Aporte porcentual de los parches de la EEP y los parques a la conectividad del paisaje a través de los componentes de dIIC

Rango de dispersión (m)	EEP			Parques vecinales y de bolsillo		
	dIICconnector (%)	dIICflux (%)	dIICintra (%)	dIICconnector(%)	dIICflux (%)	dIICintra (%)
100	4,52	0,03	95,45	100,00	0,00	0,00
200	4,52	0,03	95,45	100,00	0,00	0,00
500	4,50	0,04	95,46	99,99	0,01	0,00
1.000	4,50	0,04	95,46	99,99	0,01	0,00

empleado para definir qué constituye un parche en un paisaje. Teniendo en cuenta que una buena parte del área de estudio se encuentra altamente transformada e influenciada por una matriz urbana, se usaron como parches algunos elementos que corresponden a áreas verdes inmersas en esta matriz, pero que no constituyen en su totalidad hábitat para la biodiversidad, ya que varios de estos elementos están altamente manejados y presentan en su superficie elementos artificiales de diferente tipo. El caso contrario sucede principalmente con los elementos de la EEP, que en algunos casos no están inmersos en esta matriz urbana y constituyen un continuo de hábitat natural y seminatural. Al considerar como parches elementos mixtos entre estos dos grupos, métricas como las relacionadas con el área de interior y borde pierden su valor en este análisis, por lo que no se hizo especial énfasis en ellas.

La cantidad y distribución de parques vecinales y de bolsillo permite pensar en estos elementos como

*Stepping Stones* que pueden complementar los elementos de la EEP y facilitar la movilidad de la fauna entre estos, y por consiguiente aumentar la conectividad del paisaje (Saura, Bodin y Fortin 2014). Sin embargo, estas métricas, como ya se mencionó, indican un aumento en la fragmentación y una reducción en la conectividad. Métricas como Cority y Effective Mesh Size, que presentan una menor sensibilidad al número y tamaño de los parques, también disminuyeron en el escenario EEP+Parques, indicando aumentos en la fragmentación del paisaje (Haddad et ál. 2015; Jaeger 2000). Cority cuyo valor oscila de 0 a 1, en donde 1 corresponde a un paisaje totalmente conectado, se redujo casi en un 50 %. En el caso de Effective Mesh Size, se registró una disminución que señala mayor fragmentación del paisaje. El índice de forma indica que en general, en el escenario EEP+Parques los parches tendieron a ser menos heterogéneos e irregulares en su forma, pasando a ser más más parecidos a un cuadrado (Mcgarigal 2015).

### **Análisis a nivel de parches**

A diferencia de las métricas usadas para caracterizar el paisaje de manera general, las métricas calculadas a nivel de parche aportaron información valiosa respecto al aporte de los parques vecinales y de bolsillo a la conectividad del Distrito Capital. Las métricas que se analizaron corresponden a la categoría de métricas de agregación, particularmente al componente de aislamiento (Mcgarigal 2015). ENN y PROX si bien son métricas simples y sencillas de calcular, son de las más ampliamente usadas por la relevancia de la información que aportan (Gustafson y Parker 1992). Al comparar el comportamiento de ENN y PROX en los dos escenarios de análisis se identificó una reducción en el aislamiento de los parches de la EEP. En el caso de ENN, se identificaron reducciones significativas para todos los rangos de dispersión. PROX presentó aumentos significativos en los rangos de dispersión de 500 m y 1.000 m. Esto en general se traduce en que en el escenario EEP+Parques, los elementos de la EEP disminuyeron la distancia al parche más cercano y aumentaron la proximidad a los parches más cercanos, lo cual facilita el establecimiento de enlaces entre estos elementos, mejorando la conectividad y la capacidad de movilidad de la fauna, y resalta la importancia de los parques vecinales y de bolsillo como *Stepping Stones* (Saura, Bodin, y Fortin 2014).

### **Área conexa equivalente del paisaje**

El ECA es una métrica que separa la ganancia de hábitat en el paisaje de la ganancia real de conectividad. Esto la convierte en una herramienta de gestión bastante eficiente al momento de realizar análisis multitemporales o multiescenario para evaluar procesos de recuperación o restauración (Saura, Gonzalez y Rossellò 2011; Saura et ál. 2011). En el caso de este estudio, sus resultados permitieron identificar el aporte real que hacen los parques vecinales y de bolsillo a la conectividad del Distrito Capital. Sin embargo, aunque se registraron aumentos de ECA, estos fueron bajos e incluso menores al aumento en área, lo que sugiere que en el escenario EEP+Parques no se presenta una ganancia importante en términos de área conexa equivalente. Este resultado puede indicar que la EEP presenta un buen grado de conectividad en términos de ECA, por lo que, aunque se añadan los parques vecinales y de bolsillo a los análisis no se va a generar un aumento importante, teniendo en cuenta también el tamaño de estos elementos. Adicionalmente se puede inferir que la importancia de los parques no viene dada por su área conectada *per se*, sino por su capacidad de reforzar la

conectividad de los demás elementos tal como sugieren los resultados de los demás análisis (Saura y Rubio 2010).

### **Análisis espacialmente explícitos de Área Conexa Equivalente**

El análisis de ECA utilizando hexágonos para determinar falencias de conectividad permitió identificar algunas áreas en donde no hay presencia de elementos de la EEP y por tal razón el valor de ECA es de 0 en el primer escenario. Estas áreas se concentraron particularmente en la zona urbana del área de estudio, aunque también se presentan al sur del Distrito Capital, pero en cercanía a hexágonos con valores muy altos de ECA por la presencia de grandes elementos de la EEP. Los parques contribuyeron a reducir el número de áreas urbanas con valores nulos de ECA, al incrementar levemente estos valores con su presencia. Aun así, persistieron algunos hexágonos con valores nulos de ECA concentrados particularmente al sur de la ciudad y en donde se podrían implementar acciones que mejoren la presencia de áreas verdes y la conectividad para beneficio tanto de la biodiversidad como de los ciudadanos. Los diferentes rangos de dispersión generaron ligeras modificaciones en los valores de ECA, los cuales fueron mayores cuando el rango de dispersión aumentó.

### **Importancia de los parches individuales para la conectividad del paisaje**

Uno de los parches de la EEP demostró tener un alto valor en el mantenimiento de la conectividad del área estudio. Este parche reúne diferentes tipos de elementos de la EEP, que por encontrarse conectados se disolvieron en un único parche al momento de preparar los datos de los escenarios. Puntualmente este parche reúne elementos como el cerro La Conejera, la reserva Thomas van Der Hammen, los Cerros Orientales, entre otros elementos, que hacen que se distribuya por buena parte del área de estudio y abarque una gran superficie (Véase Figura 1). De allí que corresponda a un elemento central e integrador del paisaje en el Distrito Capital. Al analizar de manera conjunta todos los elementos del escenario EEP+Parques, se identificó que el componente más importante a través del cual contribuyen los parches a la conectividad del paisaje es a través de diIConnector, lo que indica que los parches contribuyen principalmente al facilitar la conectividad de los demás parches, es decir como *Stepping Stones* (Saura y Rubio 2010; Saura, Bodin y Fortin 2014). diI Intra también representó un componente importante de la conectividad, mientras que diIflux registró

un aporte muy bajo. Esto señala que buena parte de la conectividad viene dada por el rol que tienen los parches para reforzar la conectividad de los demás parches y por el área conectada al interior de los parches, pero no hay un aporte importante por su conectividad *per se* (Saura y Rubio 2010). Estos aportes pueden ser explicados por la importancia de los parques para facilitar la conectividad de los demás parches, y la importancia de los parches de la EEP como proveedores de hábitat por su gran superficie.

Al evaluar de manera independiente la importancia de los parches de EEP y parques en el escenario EEP+Parques para mantener la conectividad del paisaje, se observó que los parques tienen un mayor aporte que los elementos de la EEP. Esto se puede deber al elevado número de parques en comparación con el número de parches de la EEP, y resalta la relevancia de incluir estos elementos dentro de las estrategias de conectividad de la ciudad (Chang et ál. 2011). Finalmente, al descomponer los aportes de los parches de la EEP y los parques de manera independiente, se identificó que la EEP contribuye a la conectividad del paisaje en su mayoría a través del componente diICintra, confirmando su importancia en la disponibilidad de hábitat en el paisaje. Por el contrario, los parques vecinales y de bolsillo aportan el 100 % al componente diICconnector, lo que permite concluir finalmente su rol fundamental como *Stepping Stones* al facilitar la conectividad de los demás parches (Saura y Rubio 2010; Saura, Bodin y Fortin 2014).

### Implicaciones para la conservación de la biodiversidad

Los resultados sugieren que los beneficios en términos de conectividad que ofrecen los parques vecinales y de bolsillo son bastantes, y que si bien no son reconocidos como elementos de la EEP por no aportar directamente a la disponibilidad de hábitat como lo hacen los elementos de la EEP a través de diICintra, ni por tener los mismos valores naturales e importancia para los procesos ecológicos, tienen un gran potencial para contribuir a la conservación de la biodiversidad en el Distrito Capital. Las *Stepping Stones* han sido reconocidas como una estrategia para mejorar la conectividad ecológica y facilitar la movilidad de la fauna a través de matrices hostiles, al funcionar como una extensión para ampliar el rango de distribución de las especies y permitirles alcanzar parches que de otra manera no podrían alcanzar (Saura, Bodin y Fortin 2014). En el contexto de la ciudad de Bogotá, que constituye una matriz altamente hostil (Tannier, Foltête y Girardet 2012), estos elementos facilitarían la

movilidad de la fauna, particularmente de grupos como las aves que por su mecanismo de locomoción presentan ciertas ventajas de dispersión respecto a otros grupos. Esta mejora en la capacidad de movilidad les permite alcanzar nuevos parches de hábitat con una mayor oferta de recursos complementarios que facilitan la subsistencia y la persistencia de las especies.

### Conclusiones

La EEP brinda una buena oferta de hábitat para las especies al contribuir a la conectividad principalmente a través del área conexas que ofrece internamente en sus parches. No obstante, no aporta activamente a los demás componentes de la conectividad. Es allí en donde los parques vecinales y de bolsillo entran a jugar un rol clave al complementar esa conectividad inicialmente ofrecida por la EEP, a través de una serie de mecanismos que les permiten funcionar como *Stepping Stones*, de tal manera que facilitan la conectividad de los demás elementos del paisaje. Estos parques al ser pequeños y no ofrecer un alto valor ecológico o calidad de hábitat no han recibido gran importancia para la sostenibilidad y la conservación de la biodiversidad en la ciudad, aun así, al ser un gran número y encontrarse bien distribuidos en la ciudad, reducen las distancias entre parches y aumentan su proximidad. Adicionalmente estos elementos mejoran la representatividad de las áreas verdes en zonas de la ciudad en donde la EEP no hace presencia. Todo esto tiene implicaciones positivas para la fauna local, que puede mejorar su capacidad de movimiento y alcanzar parches de hábitat con una oferta complementaria de recursos. Dada su importancia para la conectividad, los parques podrían tener una mayor relevancia en los procesos de planificación del territorio, enfocados principalmente a la conservación de la biodiversidad, de tal manera que se implementen acciones que permitan explotar todo su potencial como *Stepping Stones*.

### Referencias

- Achicanoy, Jerson Andrés, Rosario Rojas-Robles y Jorge Enrique Sánchez. 2018. "Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia". *Gestión y Ambiente* 21 (1): 41-58. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.68285>

- Aide, T. Mitchell y H. Ricardo Grau. 2004. "Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems". *Science* 305 (5692): 1915-1916. <https://doi.org/10.1126/science.1103179>
- Ángel, Laura, Alberto Ramírez González y Efraín Domínguez Calle. 2010. "Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 34 (131): 173-183.
- Aronson, Myla F. J., Charles H. Nilon, Christopher A. Lepczyk, Tommy S. Parker, Paige S. Warren, Sarel S. Cilliers, Mark A. Goddard, Amy K. Hahs, Cecilia Herzog, Madhusudan Katti, Frank A. La Sorte, Nicholas S. G. Williams y Wayne Zipperer. 2016. "Hierarchical Filters Determine Community Assembly of Urban Species Pools". *Ecology* 97 (11): 2952-2963. <https://doi.org/10.1002/ecy.1535>
- Barrera-Cataño, José Ignacio, Sandra Milena Contreras-Rodríguez, Natasha Valentina Garzón-Yepes, Ana Carolina Moreno-Cárdenas y Sandra Patricia Montoya-Villareal. 2010. *Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del Distrito Capital*. Secretaría Distrital de Ambiente y Pontificia Universidad Javeriana.
- Birch, Colin P. D., Sander P. Oom y Jonathan A. Beecham. 2007. "Rectangular and Hexagonal Grids Used for Observation, Experiment and Simulation in Ecology". *Ecological Modelling* 206 (3-4): 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041>
- Breuste, Jürgen, Jari Niemelä y Robbert P. H. Snep. 2008. "Applying Landscape Ecological Principles in Urban Environments". *Landscape Ecology* 23 (10): 1139-1142. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9273-0>
- Calabrese, Justin M. y William F. Fagan. 2004. "A Comparison-Shopper's Guide to Connectivity Metrics". *Frontiers in Ecology and the Environment* 2 (10): 529-536. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0529:ACGTCM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0529:ACGTCM]2.0.CO;2)
- Chang, Hsiao-fei, Feng Li, Zhengguo Li, Rusong Wang y Yanglin Wang. 2011. "Urban Landscape Pattern Design from the Viewpoint of Networks: A Case Study of Changzhou City in Southeast China". *Ecological Complexity* 8 (1): 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.12.003>
- Correa-Ayram, Camilo A. 2009. "Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo". *Pérez Arbelaezia*, no. 19, 115-139.
- Correa-Ayram, Camilo, Manuel Mendoza, Andrés Etter y Diego Pérez. 2016. "Habitat Connectivity in Biodiversity Conservation: A Review of Recent Studies and Applications". *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 40 (1): 7-37. <https://doi.org/10.1177/0309133315598713>
- Cortés Ballén, Lorena Andrea. 2018. "An Approach to the Urban Wetland Landscape of Bogotá in the Context of the City's Main Ecological Structure". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (1): 118-130. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.60584>
- Cristancho, César y Eurides Triana. 2018. *Análisis demográfico y proyecciones poblacionales de Bogotá*. Bogotá: Secretaría Distrital de Planeación. Consultado el 15 de marzo de 2023. [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/demografia\\_proyecciones\\_2017\\_0.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/demografia_proyecciones_2017_0.pdf)
- Cushman, Samuel A., Kevin McGarigal y Maile C Neel. 2008. "Parsimony in Landscape Metrics: Strength, Universality, and Consistency". *Ecological Indicators* 8 (5): 691-703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002>
- Durán-Prieto, Juliana, Esteban Tulande-Marin y Valentina Ocampo-Flóres. 2020. "Avispas (Insecta: Hymenoptera) asociadas a árboles urbanos de la ciudad de Bogotá, Colombia". *Revista Chilena de Entomología* 46 (4): 681-698. <http://doi.org/10.35249/rche.46.4.20.14>
- Ellis, Erle C. y Navin Ramankutty. 2008. "Putting People in the Map: Anthropogenic Biomes of the World". *Frontiers in Ecology and the Environment* 6 (8): 439-447. <https://doi.org/10.1890/070062>
- Foley, Jonathan A., Ruth DeFries, Gregory P. Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen R. Carpenter, F. Stuart Chapin, Michael T. Coe, Gretchen C. Daily, Holly K. Gibbs, Joseph H. Helkowski, Tracey Holloway, Erica A. Howard, Christopher J. Kucharik, Chad Monfreda, Jonathan A. Patz, I. Colin Prentice, Navin Ramankutty and Peter K. Snyder. 2005. "Global Consequences of Land Use". *Science* 309 (5734): 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- García-Leoz, Vanessa, Juan Camilo Villegas, Diego Suescún, Claudia P. Flórez, Luis Merino-Martín, Teresita Betancur y Juan Diego León. 2018. "Land Cover Effects on Water Balance Partitioning in the Colombian Andes: Improved Water Availability in Early Stages of Natural Vegetation Recovery". *Regional Environmental Change* 18:1117-1129. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1249-7>
- Godefroid, Sandrine y Nico Koedam. 2007. "Urban Plant Species Patterns Are Highly Driven by Density and Function of Built-up Areas". *Landscape Ecology* 22: 1227-1239. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9102-x>
- Godínez-Gómez, Oscar y Camilo A. Correa-Ayram. 2022. "Makurhini: Analyzing Landscape Connectivity". Consultado el 22 de febrero de 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3771605>
- Gustafson, Eric J. y George R. Parker. 1992. "Relationships Between Landcover Proportion and Indices of Landscape Spatial Pattern". *Landscape Ecology* 7: 101-110. <https://doi.org/10.1007/BF02418941>

- Haddad, Nick M., Lars A. Brudvig, Jean Clobert, Kendi F. Davies, Andrew González, Robert D. Holt, Thomas E. Lovejoy, Joseph O. Sexton, Mike P. Austin, Cathy D. Collins, William M. Cook, Ellen I. Damschen, Robert M. Ewers, Bryan L. Foster, Clinton N. Jenkins, Andrew J. King, William F. Laurance, Douglas J. Levey, Chris R. Margules, Brett A. Melbourne, A. O. Nicholls, John L. Orrock, Dan-Xia Song y John R. Townshend. 2015. "Habitat Fragmentation and Its Lasting Impact on Earth's Ecosystems". *Science Advances* 1 (2): e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Hanski, Ilkka y Otso Ovaskainen. 2000. "The Metapopulation Capacity of a Fragmented Landscape". *Nature* 404: 755-758. <https://doi.org/10.1038/35008063>
- Herrera, Lorena P., Malena C. Sabatino, Florencia R. Jaimes y Santiago Saura. 2017. "Landscape Connectivity and the Role of Small Habitat Patches as Stepping Stones: An Assessment of the Grassland Biome in South America". *Biodiversity and Conservation* 26: 3465-3479. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1416-7>
- Instituto Distrital de Recreación y Deporte. 2020. "Sistema Distrital de Parques y Escenarios Públicos Deportivos" [Shapefile]. 22 de febrero de 2023. <https://mapas.bogota.gov.co/>
- Isaacs, Paola y Vilma Jaimes. 2014. *Análisis multitemporal de la estructura del paisaje del Distrito Capital, años 1991-2012*. Bogotá: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Isaacs-Cubides, Paola Johanna, Ledy N. Trujillo-Ortiz y Vilma Jaimes. 2017. "Zonificación de alternativas de conectividad ecológica, restauración y conservación en las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera, cuenca del río Tunjuelo (Distrito Capital de Bogotá), Colombia". *Biota Colombiana* 18 (1): 70-88. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18s01a04>
- Jaeger, Jochen A. G. 2000. "Landscape Division, Splitting Index, and Effective Mesh Size: New Measures of Landscape Fragmentation". *Landscape Ecology* 15: 115-130. <https://doi.org/10.1023/A:1008129329289>
- McGarigal, Kevin. 2013. "Landscape Pattern Metrics". En *Encyclopedia of Environmetrics*, 1441-1451. <https://doi.org/10.1002/9780470057339.val006.pub2>
- McGarigal, Kevin. 2015. *Fragstats Help*. Amherst: University of Massachusetts.
- Muñoz, John Harold y Julio César Ducón Salas. 2016. "Análisis econométrico espacial de las localidades de Bogotá y municipios del borde urbano". *Criterios* 9 (2): 129-157. <https://doi.org/10.21500/20115733.3088>
- Myers, Norman, Russell A. Mittermeier, Cristina G. Mittermeier, Gustavo A. B. da Fonseca y Jennifer Kent. 2000. "Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities". *Nature* 403: 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Novoa Salamanca, Mónica Andrea. 2022. "Contribuciones de la infraestructura verde lineal urbana al mantenimiento y uso de hábitat de comunidades de aves en una ciudad neotropical (Bogotá, Colombia)". Tesis de maestría en Conservación y Uso de Biodiversidad, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Pascual-Hortal, Lucía y Santiago Saura. 2006. "Comparison and Development of New Graph-based Landscape Connectivity Indices: Towards the Priorization of Habitat Patches and Corridors for Conservation". *Landscape Ecology* 21: 959-967. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-0013-z>
- Pauchard, Aníbal, y Olga Barbosa. 2013. "Regional assessment of Latin America: rapid urban development and social economic inequity threaten biodiversity hotspots". En *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities*, 589-608. Springer, Dordrecht.
- R Core Team. 2020. "R: A Language and Environment for Statistical Computing". Vienna, Austria. Consultado de 12 de febrero de 2023. <https://www.r-project.org/>
- Ramírez, Diana Patricia, Olga Lucía Trespalacios, Febe Lucía Ruiz y Javier Otero. 2008. *Conectividad ecológica en la zona urbano-rural de la localidad de Suba. Simposio Internacional Desarrollo, Ciudad y Sostenibilidad*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Romero Novoa, Jorge Alessandri. 2010. "Transformación urbana de la ciudad de Bogotá, 1990-2010: efecto espacial de la liberalización del comercio". *Perspectiva geográfica* 15: 85-112.
- Rusche, Karsten, Mario Reimer, Rico Stichmann, Karsten Rusche, Mario Reimer y Rico Stichmann. 2019. "Mapping and Assessing Green Infrastructure Connectivity in European City Regions". *Sustainability* 11 (6): 1819. <http://doi.org/10.3390/su11061819>
- Saura, Santiago, Örjan Bodin y Marie Josée Fortin. 2014. "Stepping Stones Are Crucial for Species' Long-distance Dispersal and Range Expansion Through Habitat Networks". *Journal of Applied Ecology* 51 (1): 171-182. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12179>
- Saura, Santiago, Christine Estreguil, Coralie Mouton y Mónica Rodríguez-Freire. 2011. "Network Analysis to Assess Landscape Connectivity Trends: Application to European Forests (1990-2000)". *Ecological Indicators* 11 (2): 407-416. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.011>
- Saura, Santiago, S. Gonzalez y Elena Rossellò. 2011. "Evaluación de los cambios en la conectividad de los bosques: el índice del área conexas equivalente y su aplicación a los

- bosques de Castilla y León". *Montes*, no. 106, 15-21. <https://doi.org/10.1039/an9669100445>
- Saura, Santiago y Lidón Rubio. 2010. "A Common Currency for the Different Ways in Which Patches and Links Can Contribute to Habitat Availability and Connectivity in the Landscape". *Ecography* 33 (3): 523-537. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05760.x>
- Secretaría Distrital de Ambiente. 2020. "Objeto Geográfico Área Protegida. Bogotá Urbana - Rural 2020". [Shapefile]. 22 de febrero de 2023. <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/micka/record/basic/%7bBD813588-813C-49DA-B-4DF-8B9BBD546653%7d>
- Secretaría Distrital de Planeación. 2009. "Conociendo Bogotá y sus localidades: resumen de los principales aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos". Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. Consultado el 10 de marzo de 2023. [https://observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/documentos/in15\\_conociendo\\_bogota.pdf](https://observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/documentos/in15_conociendo_bogota.pdf)
- Tannier, Cécile, Jean Christophe Foltête y Xavier Girardet. 2012. "Assessing the Capacity of Different Urban Forms to Pre-serve the Connectivity of Ecological Habitats". *Landscape and Urban Planning* 105 (1-2): 128-39. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.008>
- Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. 2020. "Mapa de referencia para Bogotá D.C. Versión 0320". [Geodatabase]. 22 de febrero de 2023. <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/mapa-de-referencia-para-bogota-dc>
- Williams, Nicholas S.G., Mark W. Schwartz, Peter A. Vesk, Michael A. McCarthy, Amy K. Hahs, Steven E. Clemants, Richard T. Corlett, Richard P. Duncan, Briony A. Norton, Ken Thompson y Mark J. McDonnell. 2009. "A Conceptual Framework for Predicting the Effects of Urban Environments on Floras". *Journal of Ecology* 97 (1): 4-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01460.x>
- With, Kimberly. 2019. *Essentials of Landscape Ecology*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Zar, Jerrold H. 2010. *Biostatistical análisis*. New Jersey: Prentice Hall.

**Kristian Rubiano**

Candidato a doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad del Rosario, Bogotá. Especialista en Sistemas de Información Geográfica por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Ecólogo por la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Líder de la línea de investigación en Conectividad e Interacciones Ecológicas de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.