

## **Análisis del paisaje de la microcuenca del río Fucha en la ciudad de Bogotá, Colombia. Diagnóstico para el mejoramiento de servicios ecosistémicos**

### *Landscape Analysis of the Fucha Basin (Bogotá, Colombia): A Diagnostic for Improving Ecosystem Services*

Julieth Monroy Hernández\*

Recibido: 06/05/2019. Aprobado: 19/09/2019. Publicado en línea: 20/02/2020.

**Resumen.** Este artículo presenta los resultados del proyecto “Análisis espacial de configuración del paisaje en tres áreas de protección y manejo de Bogotá, D. C. Formulación de lineamientos de manejo integrado de paisaje para el mejoramiento de Servicios Ecosistémicos” desarrollado por la Línea de Investigación en Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá (JBB). El proyecto se enfoca específicamente en la microcuenca río Fucha; se basó en la observación de elementos del paisaje y su conexión potencial por medio de tres áreas estratégicas de ordenamiento para la ciudad: la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (RFPBOB), las Áreas de Ocupación Pública Prioritaria (AOPP) de la Franja de Adecuación de los Cerros Orientales y la Microcuenca Fucha. De igual manera es un ejercicio de acercamiento a la implementación de la propuesta metodológica “Modelo de acercamiento al estudio de zonas de montaña”, como forma del análisis del paisaje a partir de tres dimensiones: verticalidad, horizontalidad y transversalidad, con el cual se identificaron zonas para el mejoramiento de Servicios Ecosistémicos (SE) culturales.

**Palabras clave:** Geografía del paisaje, Servicios Ecosistémicos, cuencas urbanas, áreas verdes urbanas.

**Abstract.** This paper reports the results of the project "Spatial Analysis of Landscape Configuration in Three Protection and Management Areas of Bogotá D.C.: Formulation of

Integrated Landscape Management Guidelines for Improving Ecosystem Services". The project was carried out by the Biodiversity and Ecosystem Services research team at the Scientific Subdirectorate of Bogotá Botanical Garden. The project analyzes landscape elements and their potential linkages to strategic management areas related to the Fucha basin: the Bosque Oriental de Bogotá Forest Protection Reserve and the Priority Public Occupation Areas of the Franja de Adecuación, a buffer zone between the city and the eastern hills. The main objectives of the study were to identify the zones with less availability of urban green areas and show a increasing these areas could expand the spaces suitable for supplying cultural ecosystem services.

The study followed the "Model for Studying Landscapes in Mountainous Zones" methodological approach. This model examines three landscape dimensions: verticality, horizontality, and transversality. Verticality addresses the multiple elements of the landscape along the river axis; horizontality analyzes the organization pattern and spatial configuration of the landscape; and transversality assesses the relationships between landscape elements by means of network and proximity analyses.

Landscape elements of the Fucha river basin were analyzed using geographic information system tools and field work. The river has been channeled in the urban portion of its basin, where the main land-use is residential, especially along the riverbank in the middle basin, where large green areas and parks with recreational infrastructure

---

\* Línea de Investigación Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Subdirección Científica Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Avenida Calle 63, núm. 68-95, Bogotá, Colombia. Email: jmonroy@jbb.gov.co, juliethmh@gmail.com

exist. By contrast, the lower part of the urban basin harbors mainly industrial and commercial sectors, characterized by constructions standing very close to the canal, few green spaces, and presence of solid waste. In the upper middle basin, groups of street dwellers live along the canal, along with small settlements and self-construction neighborhoods. The upper basin corresponds to the forest reserve, where the vegetation cover includes shrublands, secondary forest and moorland, interspersed with patches of eucalyptus and pine plantations, and some acacias at the edge of the reserve.

Landscape metrics were calculated and analyzed using the ArcGIS IndiFrag tool. These showed that 61% of the landscape elements correspond to urban areas or artificial surfaces, including commercial, residential, industrial, service and recreation areas, urban facilities and public spaces, canals, roads and railways. The remaining 39% corresponds to undeveloped areas such as urban green areas, water bodies (wetlands and rivers), unbuilt areas, and protected areas. Aggregation metrics showed that, although industrial uses occur in high density, they do not comprise a large number of buildings; therefore, they correspond to units located in a specific sector to the center of the urban basin. The most widely scattered elements are recreational spaces, urban

facilities, and green areas, which show a low probability of occurrence is the landscape. The analysis of the expansion of urban green areas toward unoccupied areas revealed that a ~50% increase does not contribute to better meet the demand, given the current distribution of landscape elements in the urban basin.

The connections with the lowest displacement costs between urban green areas were analyzed using the ArcGIS Matrix Green tool. Three critical sectors demanding attention were identified. The first is located in the lower basin, where small urban green areas are found with no connections with large green areas. The second sector is located in the middle basin, where a recently developed urban zone, along with a low availability of spaces for developing green areas were identified. The third is located in the northeast part of the middle basin, characterized by the lowest availability of green areas and no spaces available for their development. Finally, the upper part of the basin has been identified as an area that could supply cultural ecosystem services for the city, and potential access routes to that zone were identified by conditioning the connections with the slope.

**Keywords:** Urban landscape, urban basin, urban green areas, ecosystem services, Fucha river

## INTRODUCCIÓN

El río Fucha es un corredor importante de conexión entre la ciudad de Bogotá, sus cerros orientales y el río Bogotá. En el Plan de Ordenamiento Territorial vigente el río Fucha es reconocido como un corredor ecológico para el que se busca plantear instrumentos que permitan conservar los cauces naturales dentro de la ciudad, la protección del ciclo hidrológico y la complementación de los servicios prestados mediante equipamientos urbanos. Sin embargo, se considera que la microcuenca cuenta con pocas áreas verdes con respecto a otros sectores de la ciudad; su alta urbanización y la ubicación de zonas industriales han conllevado a conflictos de uso que dificultan un adecuado manejo y recuperación del río.

En el marco del proyecto 1121 de la Subdirección Científica del JBB a desarrollarse entre 2016 y 2020 intitulado “Investigación para la conservación de los ecosistemas y flora de Bogotá, D. C. y la región”, la Línea de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos de la misma institución desarrolló durante 2018 el proyecto de investigación “Análisis espacial de configuración del paisaje en tres áreas de protección y manejo de Bogotá, D. C. Formu-

lación de lineamientos de manejo integrado de paisaje para el mejoramiento de Servicios Ecosistémicos”. Sus objetivos principales fueron aportar información geoespacial para la formulación de lineamientos de manejo integrado del paisaje, la conexión entre las áreas menos intervenidas y el mejoramiento de los SE en aquellas que tienen una mayor presión urbana. Para esto se realizó un análisis espacial de configuración del paisaje, que consistió en la medición de métricas del paisaje de la microcuenca río Fucha y la observación de zonas de conexión potencial por medio de tres áreas estratégicas de ordenamiento para la ciudad: RFPBOB, AOPP y Microcuenca del río Fucha (Figura 1).

Dado que el área de estudio comprende la zona de montaña y sus áreas adyacentes, conformadas por una zona de transición entre un área de protección y un área urbana (entre la RFPBOB y la Franja de Adecuación), y una cuenca urbanizada (microcuenca río Fucha), este análisis toma el “Modelo de acercamiento al estudio de zonas de montaña” (Monroy, 2017) para la observación de las relaciones espaciales que se dan en el paisaje en tres dimensiones: vertical (multiplicidad de los elementos paisajísticos a lo largo del eje del

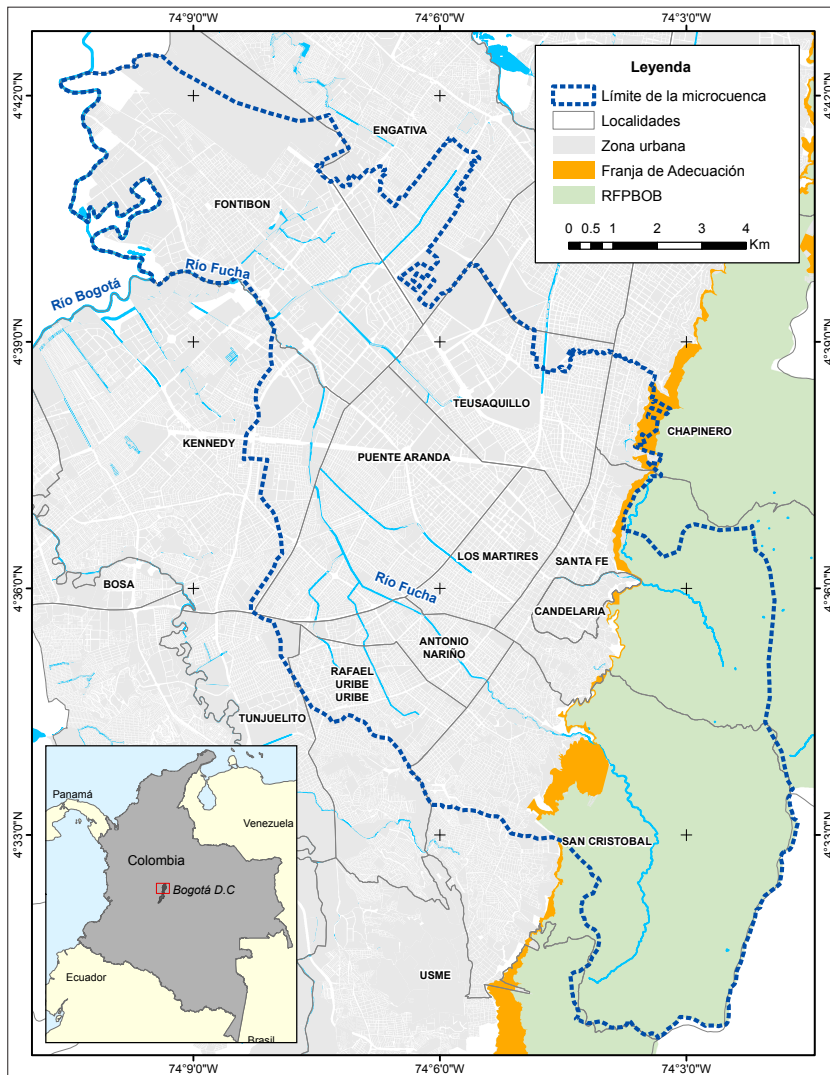


Figura 1. Ubicación de la microcuenca río Fucha. Fuente de cartografía base: IDECA (2018).

río Fucha), horizontal (patrones de organización de mosaicos de paisaje urbano-rural) y transversal (las relaciones entre los diferentes elementos del paisaje).

La obtención de los componentes del paisaje y la medición de configuración e interacciones espaciales se logra a partir del uso de cartografía vectorial de plataformas libres de información oficial e información raster obtenida por medio de sensores remotos a partir de una imagen satelital suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB); mientras que para la medición de la configuración se utilizan indicadores de métricas del paisaje con herramien-

tas como IndiFrag, desarrollada por el Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección de la Universidad de Valencia España, y MatrixGreen, del Royal Institute of Technology (KTH) de la Universidad de Estocolmo, tomando como base indicadores ajustados de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona y el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (DADEP) de Bogotá. Finalmente, con los resultados obtenidos se formulan algunas recomendaciones para el manejo integrado del paisaje como aporte a los planes de manejo y proyectos que a la fecha se han formulado para las tres áreas objeto de análisis.

## EL PAISAJE, SUS FORMAS DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS

Existen diferentes perspectivas para el estudio del paisaje que dependen del enfoque de quien realiza el acercamiento a los elementos y dinámicas que lo componen. Urquijo y Barrera (2009) identifican tres grandes enfoques paisajísticos: la ecología del paisaje (fundamentalmente de corte biológico o ecosistemático), la geoecología del paisaje (que integra elementos de geografía física y ecogeografía) y la geografía cultural del paisaje (intervención y percepción humana del medio desde las ciencias sociales). Barrera-Lobatón (2014), por su parte, define cinco perspectivas: primera, en la cual se encuentran las discusiones epistemológicas acerca del paisaje (definiciones, métodos y alcances de estudio); segunda, el paisaje entendido desde sus transformaciones (historia ambiental, paleohistoria ambiental, paisaje rural y paisaje urbano); tercera, el paisaje entendido desde su percepción y representación (fenomenología, percepción y arte); cuarta, el paisaje visto desde la teoría general de sistemas (geofísica, biogeografía, estudios multicriterio y multiobjetivo con visión ecosistémica), y por último, la administración del paisaje (desde la arquitectura y el ordenamiento territorial).

El tema en cuestión se enmarca dentro del enfoque sistémico, el cual se basa en la identificación de unidades de paisaje y la comprensión de las relaciones de sus elementos (Barrera-Lobatón, 2014); se trata de una visión integradora de la naturaleza que busca analizar el paisaje como un sistema complejo, dinámico y abierto (Cotler y Priego, 2007). De esta forma, el enfoque sistémico del proyecto se apoya en los planteamientos metodológicos y conceptuales de la ecología del paisaje, disciplina que estudia las propiedades de composición (tipos de elementos que forman parte del paisaje) y la configuración (características espaciales) por medio del uso de métricas o conjunto de medidas cuantitativas que se soportan en el análisis espacial. También se sustenta en la geografía del paisaje, la cual se enfoca en la observación de la configuración territorial, donde cada paisaje es la reproducción de fuerzas materiales e inmateriales a diferentes escalas, compuestas por elementos

físicos y relaciones que son visibles y tangibles en el espacio (Santos, 1996).

En general la ecología del paisaje se basa en dos enfoques: el paisajístico o estructural-funcional y el metapoblacional (Szek, 2012). Desde el enfoque estructural se observa cómo la agrupación de estos elementos determina la dominancia y la heterogeneidad de cada paisaje, lo que condiciona las funciones que cumplen los sistemas dentro de este (Morláns, 2005). La estructura se define por la composición y la configuración de los elementos que forman el paisaje, es decir, la interpretación de la heterogeneidad horizontal, mientras que la función se refiere a las interacciones de sus elementos (flujos de energía, materia y especies, etcétera) o heterogeneidad vertical dada por los procesos y relaciones funcionales al interior de los ecosistemas (Szek, 2012). De esta manera, las relaciones entre estructura y función se pueden ilustrar como las formas en las cuales los estados de interacción entre dos objetos son proporcionales a su borde común en superficie, donde la forma y el tamaño de los parches determinan cuán largo es el grado de las características funcionales (Leitao *et al.*, 2012).

Estas propiedades del funcionamiento y la configuración del paisaje se miden mediante métricas de paisaje, las cuales se definen como el resumen cuantitativo escalar de la estructura del paisaje para los patrones de mapas categóricos (McGarigal, 2006; Leitao *et al.*, 2012). Estos índices se han integrado en otros enfoques fuera de la ecología, como en los estudios urbanos, para los cuales se han adoptado métricas de área-perímetro, como el índice de fragmentación urbana (Salinas, 2009; Sapena y Ruiz, 2015b; Soriano, 2017); de agregación, como los índices de compacidad urbana (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2011; Sapena y Ruiz, 2015a), y de aislamiento y conectividad, como la distancia de la población a espacios verdes y áreas verdes por habitante (García y Pérez, 2009; Reyes y Figueroa, 2010; Castillo, 2013), entre otros.

De esta forma, las métricas de paisaje se han convertido en herramientas que permiten trazar una línea metodológica para la relación de la estructura del paisaje y la manifestación espacial de sus patrones, que pueden determinar y condicionar

procesos y funciones, como la provisión de SE (Frank y Walz, 2017). Estos elementos son importantes para la toma de decisiones en la medida en que evidencian conflictos ambientales y problemas de conectividad, y aportan a la formulación de herramientas y metodologías para el uso y manejo de los paisajes (Barrera-Lobatón, 2014).

En esta última perspectiva se integra la geografía el paisaje, enfoque multiescalar en la observación del espacio que incorpora conceptos como región, contigüidad, vecindad y conectividad desde su expresión tanto física como virtual (Barrera-Lobatón, 2011). La configuración de los elementos que componen el paisaje y sus transformaciones influyen sus representaciones, percepciones y valoraciones, por lo tanto, legitiman acciones sobre el paisaje, convirtiéndose en un factor estratégico para la planeación, ya que, como mencionan Salazar y Cusva (2014), la identificación de paisajes con alto valor escénico, de conservación, de producción agropecuaria o de diversos SE en general determina el uso, la función social y la importancia estratégica del paisaje, convirtiéndolo en un sistema de elementos y acciones.

## SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y MANEJO INTEGRADO DEL PAISAJE

Comprender, describir y cuantificar los SE es un asunto necesario para la toma de decisiones, y se logra a partir de información e instrumentos apropiados que permitan una evaluación práctica y asertiva de las condiciones actuales y de los cambios observados en los ecosistemas (Lattera, Paruelo y Jobbágy, 2011). Las particularidades que caracterizan los espacios naturales urbanos y de periferia urbana han hecho que en muchas ocasiones sean considerados como áreas a proteger, debido a que se encuentran en una situación de inestabilidad e incluso pérdida de sus funciones, dada la presión ambiental por parte de las dinámicas de la ciudad (Monroy, 2014).

Para llegar a un manejo efectivo de las áreas naturales periurbanas y su continuidad dentro de la ciudad, es preciso adoptar una perspectiva de paisaje que lo entienda no sólo como lo visible del

territorio, sino como un compuesto de elementos y dinámicas naturales y antrópicas. El paisaje, como unidad básica de análisis, aporta a la visualización y la valoración de las formas de organización de diferentes usos y coberturas, y la relación de éstas con la organización territorial, permitiendo así realizar un diagnóstico base para generar propuestas de actuación específicas.

Uno de estos acercamientos se ha dado recientemente con el concepto de manejo integrado del paisaje, principalmente centrado en el ordenamiento de medios de vidas agrícolas, y posteriormente orientado hacia la conservación (Scherr, Shames y Friedman, 2013). Este enfoque integra una visión compleja del espacio, que apunta a la comprensión amplia e interpretación causal de relaciones espaciales entre elementos y tipos de estructuras, lo que permite diferenciar varios tipos de paisajes, eje de las actuaciones de los instrumentos de ordenamiento (Zoido, 2002). Para que los planeadores puedan lidiar con el cambio en el paisaje, es necesario el desarrollo de su conocimiento básico para formular alternativas a futuro con el fin de satisfacer una gama de demandas crecientes sobre los recursos en beneficio de los grupos humanos (Leitao *et al.*, 2012; Scherr, Shames y Friedman, 2013).

Una de las perspectivas que se ha incluido en el manejo integrado del paisaje es la de los SE, la cual es también una aproximación de la dimensión ambiental en la toma de decisiones, que busca aportar a la planificación del uso de la tierra y promover el bienestar humano, basándose en la articulación del ámbito científico y los tomadores de decisiones, tanto públicos como privados, para la resolución de conflictos sobre información objetiva (Lattera, Paruelo y Jobbágy, 2011). En este marco los sistemas de información geográfica se han convertido en una herramienta fundamental para el análisis espacial del paisaje y los SE, permitiendo así llegar al planteamiento de escenarios de paisaje y alternativas futuras (Leitao *et al.*, 2012). Estas herramientas permiten investigar de un modo diferente, favoreciendo el diálogo entre disciplinas en búsqueda de visiones integradoras, como el caso de los SE, que además de valorar el capital natural, permiten crear un puente entre las ciencias ambientales, sociales y económicas (Lattera, Paruelo y Jobbágy, 2011).

Sin embargo, existen varias críticas al respecto: Setten, Stenseke y Moen (2012) mencionan que el concepto genera una externalización problemática de la naturaleza, por lo que identifican tres desafíos que deben ser analizados: el primero se refiere a la falta de compatibilidad entre los SE y la lógica de los paisajes, debido a la separación entre lo ambiental y lo humano, que direcciona en muchas ocasiones el estudio de los SE, así como la difícil integración de las escalas temporales y espaciales entre SE y paisajes; el segundo se encuentra en la complejidad de vincular los ecosistemas y el paisaje con la valoración económica, por lo cual se convierte en un ejercicio meramente informativo que soporta los procesos políticos, y el tercero representa la dificultad del concepto de SE para integrar los procesos socioculturales y su vinculación con el comportamiento ambiental.

Como mencionan Laterra, Paruelo y Jobbágy (2011), los SE deben ser entendidos como aspectos de los ecosistemas utilizados por los grupos humanos (de forma activa o pasiva), donde para comprender los cambios en el paisaje, es necesario crear metodologías que aporten a la resolución de conflictos ambientales en función del bienestar humano y ambiental. La valoración de los SE, en el caso de la presente investigación, busca la identificación de los espacios verdes urbanos y su configuración espacial, así como sus posibles conexiones a diferentes escalas, con el fin de contribuir a las medidas de mejoramiento y desarrollo estratégico de áreas verdes para la ciudadanía.

## MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Teniendo en cuenta los principios para el análisis del paisaje, desde la ecología del paisaje y la geografía del paisaje, la aproximación metodológica se basa en el “Modelo de acercamiento al estudio de zonas de montaña” propuesto por Monroy (2017), el cual tiene como base tres dimensiones de análisis: horizontalidad-verticalidad-transversalidad. Se integran los planteamientos teóricos de Szek, (2012), Leitao *et al.* (2012) y McGarigal (2006), y se define la dimensión vertical como aquellas relaciones de heterogeneidad a lo largo de la cuenca

(vista desde la ecología del paisaje como multiplicidad de elementos paisajísticos); la dimensión horizontal analiza cómo se extienden sobre el área de estudio diferentes patrones de organización del paisaje, es decir, su configuración espacial, para lo cual se implementa la medición de métricas de paisaje (área-perímetro y agregación); finalmente, la dimensión transversal observa las relaciones que se dan entre los diferentes elementos del paisaje por medio del análisis de redes y proximidad.

Para el análisis de la dimensión vertical de los elementos del paisaje, se creó un perfil del río Fucha desde su nacimiento en los cerros orientales hasta su desembocadura en el río Bogotá. Para esto se utilizó un modelo de elevación detallado del terreno del satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) —de la Agencia Aeroespacial y de Exploración de Japón (Japan Aerospace and Exploration Agency [JAXA])—, el cual toma imágenes de radar a través del sensor PALSAR, con resolución de 12.5 metros (JAXA/METI, 2011). Para la medición de la dimensión horizontal, se creó una capa cartográfica a partir de información oficial de la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital Bogotá (IDECA) (manzanas, vías, separadores viales, áreas verdes, parques, espacio público y áreas homogéneas), ajustando y actualizando la información por fotointerpretación de la ortofoto que este mismo portal publica, fechada en 2015, con una resolución espacial de 7.5 cm, apoyándose para su verificación (en algunos sectores donde se han observado cambios por urbanización, principalmente) en imágenes Digital Globe del *software* Google Earth, con fecha de enero de 2018. Para la zona rural se realizó una identificación de coberturas con una imagen multiespectral del satélite Geoeye, de 2016, suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, que luego fue convertida a una capa vectorial de la cual se extrajeron los elementos de cobertura natural para el análisis de conexión con áreas verdes urbanas. Esta información vectorial permite operar con relaciones topológicas manteniendo la relación entre objetos contiguos de una misma clase, facilitando la interpretación de los resultados mediante la generación de mapas categóricos a partir de índices (Sapena y Ruiz, 2015a). Una vez obtenida una

capa de los principales elementos del paisaje, se calculan las métricas adaptadas al contexto urbano para la microcuenca río Fucha con la herramienta IndiFrag en el *software* ArcGIS de ESRI (versión 10.5), caja de herramientas que permite calcular índices de la distribución espacial de los usos y coberturas del suelo con enfoque en lo urbano (Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección, 2015).

Para el análisis de la dimensión transversal se utilizó el Sistema de Indicadores de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, enfocándose únicamente en las áreas verdes urbanas y las áreas no edificadas, las cuales son los elementos que podrían prestar potenciales SE, ya que, a mayor verde urbano interconectado, se amplían las posibilidades de que las áreas urbanas sean permeables a las dinámicas e intercambios entre los espacios naturales menos intervenidos y las áreas verdes interurbanas modificadas, que además de proveer SE culturales, aportan al mejoramiento de las variables de entorno en el espacio público, como la reducción de ruido y contaminación, entre otras (Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, 2010).

Se calcula entonces, en primera instancia, la métrica de proximidad a espacios verdes y la posibilidad de acceso de la ciudadanía; luego se realiza un análisis de la probabilidad de conexión espacial de éstas como corredor dentro del tejido urbano, y también entre este tejido y las áreas objeto de conservación en la RFPBOB y las AOPP (cobertura natural de arbustales, bosque secundario y plantaciones forestales). Este último análisis se realiza con la caja de herramientas MatrixGreen, desarrollada por la Universidad de Estocolmo para su uso en el *software* ArcGIS de ESRI, la cual, a través del análisis de parches de diferentes tamaños, construye redes y *clusters* donde existe un potencial de movilidad y acceso de acuerdo a parámetros establecidos por el usuario (Bodin y Zetterberg, 2010).

Finalmente, se realiza una estimación del porcentaje de áreas a incluir como espacios verdes urbanos, su posible impacto y la identificación del déficit de áreas verdes, que pueden ser objeto de inclusión en los planes de mejoramiento de los SE en la ciudad, teniendo en cuenta los parámetros de la herramienta Evaluación de Infraestructura Verde

(Green Infrastructure Valuation Toolkit [GI-Val, por sus siglas en inglés]) (Versión 1.6, 2018).

## RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ELEMENTOS DEL PAISAJE DE LA CUENCA DEL RÍO FUCHA

Inicialmente, en la dimensión vertical se observó la forma en que cambian los elementos que rodean el río a medida que atraviesa la ciudad, evidenciando afectaciones a su cauce, como canalización, invasión de ronda, presencia de basura y escombros, y falta de integración del río y las áreas verdes sobre su ronda como parte del paisaje urbano (Figuras 2 y 3).

Durante los recorridos en campo por la ronda del río Fucha se observó que uno de los usos principales es el residencial. En la parte media de la microcuenca, entre las localidades de Puente Aranda y Antonio Nariño, se encuentran amplias áreas verdes en la ronda del río con parques que poseen infraestructura para la recreación, a diferencia de la parte baja de la cuenca, donde en la ronda se encuentran construcciones muy cercanas al cauce, pocos espacios verdes y presencia de residuos sólidos, zona también relacionada al sector industrial y de comercio. En la parte media-alta de la microcuenca de la zona urbana se encuentran algunos asentamientos de habitantes de calle, rondas nuevamente más reducidas y barrios de autoconstrucción con edificaciones más dispersas a medida que se asciende, donde hay cambio de la cobertura vegetal nativa por pastos. En la cuenca alta, área que corresponde a la RFPBOB, se encuentra cobertura vegetal de arbustales, bosque secundario y páramo, intercalada con parches de plantaciones de eucaliptos y algunas acacias en el borde de la reserva, así como plantaciones de pinos en la parte más alta (pino patula, principalmente, y pino ciprés) (Figura 4).

En la dimensión horizontal del paisaje se tomaron los elementos encontrados en campo para la creación de categorías de clasificación del paisaje y el posterior análisis de su configuración. De esta forma se clasificaron los elementos que se muestran en la Tabla 1.

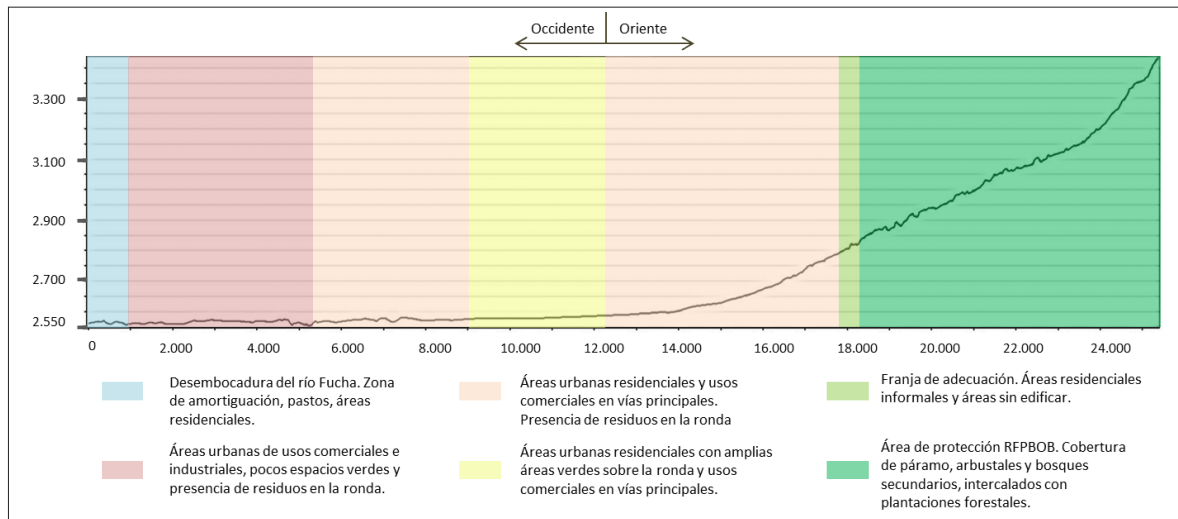


Figura 2. Elementos del paisaje a lo largo del eje del río Fucha. Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Elementos del paisaje de la ronda del río Fucha en la cuenca baja. Conjuntos residenciales (izquierda), zona comercial e industrial (derecha). Fuente: elaboración propia.

Se utilizaron las métricas de área-perímetro (densidad de clase, densidad de objetos y densidad urbana) y de agregación (densidad de objeto, compacidad de clase y grado de coherencia). Las métricas de área-perímetro indicaron que el área urbana de la microcuenca tiene una extensión de 15 624.32 m<sup>2</sup>, de los cuales 61% de los elementos del paisaje corresponde a áreas urbanas o superficies artificiales, como áreas comerciales y de servicios, áreas de equipamientos, espacio público, áreas industriales, canales, áreas recreacionales, áreas

residenciales, separadores viales, vías férreas y vías. Por tanto, 39% corresponde a áreas no urbanizadas, como áreas verdes urbanas, cuerpos de agua (humedales y el río Bogotá), áreas no edificadas y áreas de protección (RFPBOB).

Las métricas de agregación permitieron observar que prevalecen los elementos de uso residencial en el paisaje de la microcuenca, seguidos por las áreas comerciales y de servicios (Figura 5). Aunque los usos industriales tienen una alta densidad de clase, no se encuentran divididos en



Figura 4. Coberturas de la cuenca alta del río Fucha. Abajo, cobertura característica de páramo seguida por arbustales (izquierda) y pinos. En la parte más alta se observan algunos arbustales y cobertura de páramo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Elementos del paisaje de la microcuenca río Fucha (2018)

| Elementos del paisaje urbano | Área (ha) | Área total de la microcuenca (%) | Coberturas área rural                    | Área (ha) | Área total de la microcuenca (%) |
|------------------------------|-----------|----------------------------------|------------------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Área verde urbana            | 758.85    | 3.78                             | Páramos                                  | 488.86    | 2.44                             |
| Cuerpos de agua              | 37.48     | 0.19                             | Pastos y cultivos                        | 59.64     | 0.30                             |
| Canales                      | 46.36     | 0.23                             | Plantaciones forestales                  | 1 543.56  | 7.69                             |
| Comercial y de servicios     | 1 440.52  | 7.18                             | Bosque secundario                        | 1 748.95  | 8.71                             |
| Equipamientos                | 1 301.51  | 6.48                             | Arbustales                               | 4 271.99  | 21.28                            |
| Espacio público              | 166.38    | 0.83                             | Chusque                                  | 1 585.43  | 7.90                             |
| Industrial                   | 1 096.58  | 5.46                             | Áreas antropizadas en zona de protección | 53.58     | 0.27                             |
| No edificado                 | 755.8     | 3.76                             | Cuerpos de agua                          | 19.57     | 0.10                             |
| Protección                   | 4 451.84  | 22.17                            | Área rural                               | 4 451.68  | <b>22.17</b>                     |
| Recreacional                 | 30.84     | 0.15                             |                                          |           |                                  |
| Residencial                  | 2 662.05  | 13.26                            |                                          |           |                                  |
| Río Bogotá                   | 22.22     | 0.11                             | Área total de la microcuenca (ha)        | 20 076    |                                  |
| Separador vial               | 267.18    | 1.33                             |                                          |           |                                  |
| Vía férrea                   | 13.98     | 0.07                             |                                          |           |                                  |
| Vías                         | 2 572.74  | 12.82                            |                                          |           |                                  |
| Área urbana                  | 15 624.32 | 77.83                            |                                          |           |                                  |

Fuente: elaboración propia.

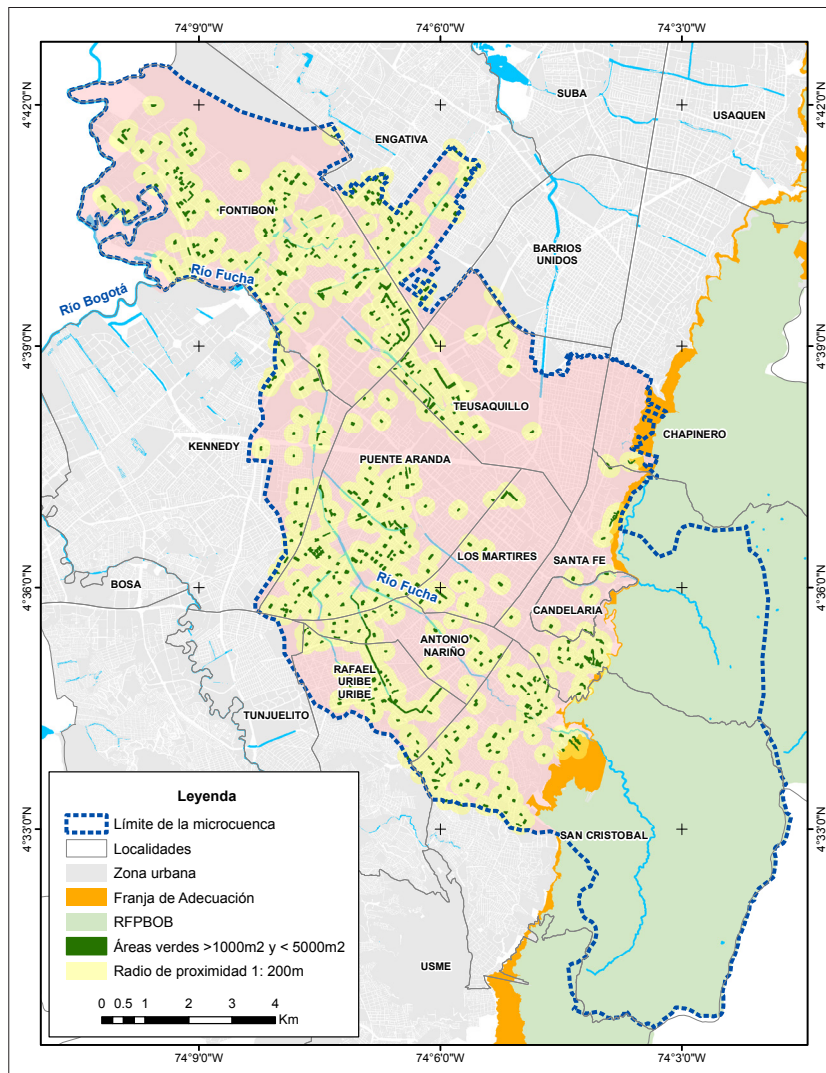


Figura 5. Radio de proximidad 1, áreas a 200 m de distancia. Sistema de referencia MAGNA-SIRGAS Datum Bogotá. Fuente de cartografía base: IDECA (2018).

un gran número de objetos, por lo que corresponden a unidades que se encuentran concentradas en un sector específico hacia el centro del área urbana de la microcuenca. Los elementos más dispersos son los recreacionales, los equipamientos y las áreas verdes urbanas, por lo tanto, la probabilidad de encontrarse en el espacio es más reducida.

En el análisis de la dimensión transversal del paisaje se utilizaron tres radios de proximidad a áreas verdes de acuerdo con los parámetros establecidos por la Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible (2010):

- Radio de acceso 1: 200 m de proximidad a áreas verdes con una extensión de 1 000 m<sup>2</sup> a 5 000 m<sup>2</sup>. Corresponden a aquellos espacios con los que la población puede tener un contacto diario por su fácil acceso y cercanía, y que pueden proporcionar un ambiente de mayor bienestar.
- Radio de acceso 2: 750 m de proximidad a áreas verdes con una extensión mayor a 5 000 m<sup>2</sup> y hasta máximo 1 ha. Corresponden a áreas donde se puede llegar en un desplazamiento a pie, que a pesar de no ser tan cercanas al espacio inmediato en el cual vive la población, su potencial es prestar estancia y

recreo al aire libre, con la posibilidad de tener mayor infraestructura que las anteriores dada su extensión.

- Radio de acceso 3: áreas verdes con un área mayor a 1 ha, con una distancia menor a 2 km. Son aquellas a las que puede accederse en un desplazamiento en bicicleta o un recorrido corto en transporte público, y que pueden prestar SE culturales a grupos de población más grandes y contener infraestructuras para la recepción de dichos grupos, como senderos, miradores y lugares de encuentro, entre otros.

- Radio de acceso 4: áreas de protección de gran extensión a una distancia de 4 km. Prestan SE culturales tanto a nivel local como regional.

Se obtiene como resultado que existe una amplia oferta de áreas verdes urbanas en las localidades de Rafael Uribe, Puente Aranda (en su sector sur, principalmente residencial), San Cristóbal, Antonio Nariño y Fontibón, mientras que las localidades de Los Mártires, Santa Fe y Teusaquillo, hacia el centro de la ciudad, en la parte nororiental de la microcuenca, tienen un déficit de áreas verdes a nivel local (Figura 6) y el acceso al área de protec-

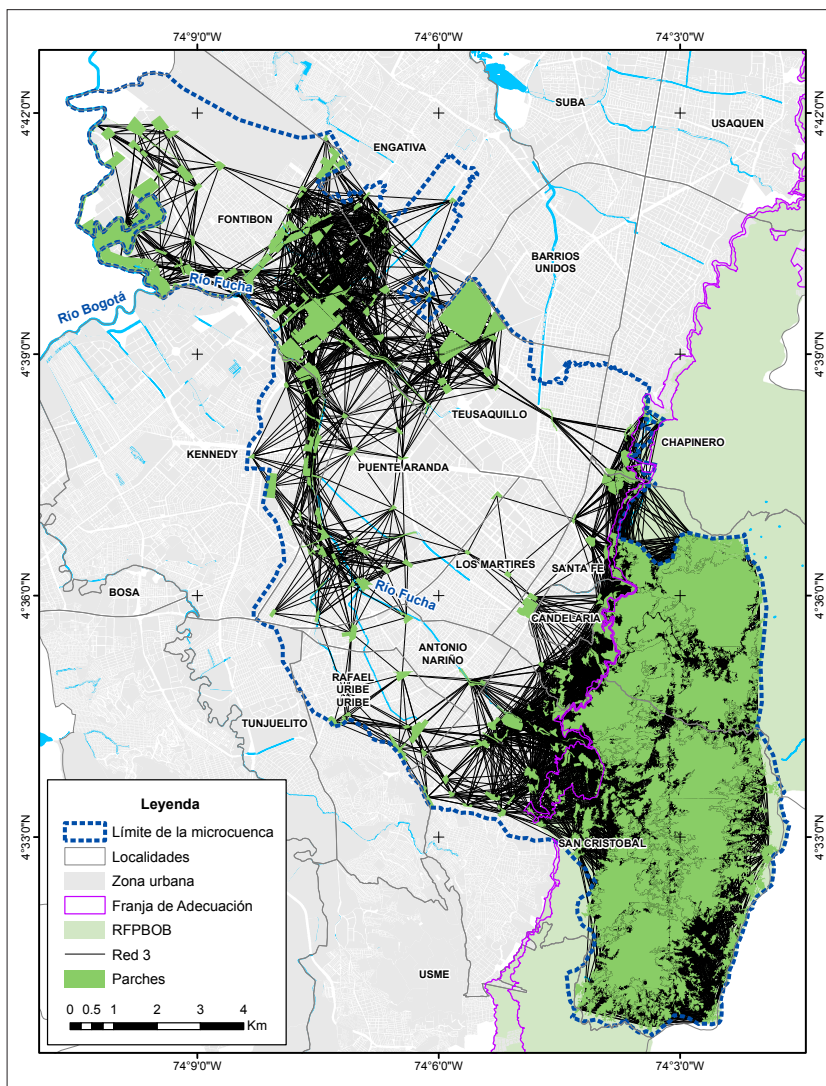


Figura 6. Mapa de redes de parques en la microcuenca Fucha para el radio 3. Fuente de cartografía base: IDECA (2018).

ción RFPBOB se encuentra limitado al extremo occidental de la microcuenca con un acceso.

Posteriormente se realiza el análisis de redes con los tres elementos del paisaje de interés: áreas verdes urbanas, áreas no edificadas y coberturas objeto de conservación y restauración en las áreas de protección AOPP y RFPBOB (bosques secundarios, arbustales y páramos). A partir de estos elementos se construyen agrupaciones de parches de acuerdo con los mismos parámetros anteriormente descritos, y de manera acumulativa se mide igualmente la distancia entre las áreas en el espacio urbano y el espacio de protección en la parte alta de la microcuenca. Para el primer radio se obtiene que 24.16% de los parches en zona urbana (201) pueden ser interconectados a una distancia de 200 m, entre el espacio urbano y el área de protección (Franja de Adecuación de los Cerros Orientales y RFPBOB), de éstos, 46.2% se encuentran dentro de las AOPP de la Franja de Adecuación y tienen una posible conexión con la RFPBB. En el segundo radio se obtiene una red más compacta, que resulta en una interconexión efectiva entre el área urbana y el área de protección a una distancia de 750 m. En el radio de 2 000 m se obtiene una red totalmente interconectada, pero que denota nuevamente un vacío de conexión en las localidades de Teusaquillo, Los Mártires y Chapinero, las cuales sólo pueden ser conectadas a través de las áreas verdes a lo largo del eje del río Arzobispo, afluente de la microcuenca (Figura 7). Estas localidades, al carecer de áreas verdes y espacios no edificados, cuentan con un bajo potencial de conexión entre espacios verdes de la microcuenca y una desconexión con los cerros orientales.

Sin embargo, ya que los cerros orientales poseen un relieve bastante quebrado, el área de la microcuenca no se puede tomar como una proyección horizontal, por lo que estas conexiones son condicionadas por la pendiente. Por tanto, para tener una mejor aproximación a las posibilidades de acceso a las áreas analizadas, se realiza una clasificación de las conexiones con un mapa de pendientes, obtenido a partir del modelo de elevación utilizado para la generación del perfil del río Fucha. Las pendientes se clasifican de acuerdo a los parámetros oficiales definidos por el Instituto Geográfico Agustín Co-

dazzi (IGAC, 2014; IGAC, 2016). Las conexiones se califican de la siguiente forma:

- A los rangos de pendiente menores a 25% se les asigna el valor de peso 1, que indica una óptima conexión.
- A los rangos de pendiente de 25% a 50 % se les asigna el valor de peso 2, es decir que estos vínculos de la red se encuentran medianamente condicionados por la pendiente.
- Los valores mayores a 50% son de peso 3, que hace referencia a un alto costo de acceso debido a su alta pendiente.

Estos valores no hacen referencia a una exclusión, sino a una condicionante que limita el acceso a las áreas, por lo que los valores de costo 3 pueden ser accesibles sólo a una parte de la población, por ejemplo, caminantes y senderistas con experiencia, mientras que el costo 2 puede ser de acceso a caminantes esporádicos, y el costo 1, de acceso a todo tipo de público.

Se obtiene como resultado que el área de los cerros orientales se encuentra altamente condicionada por su relieve quebrado y escarpado, con un costo de acceso tipo 3, es decir que presenta pendientes mayores a 50%; en la parte suroriental del límite de la reserva el relieve presenta menos pendiente y posee un costo de acceso tipo 2 en áreas de páramo (sector dentro de la reserva) y en la zona urbana de la localidad de San Cristóbal. Con el fin de encontrar estructuras a través de la red, tomando como referencia los trabajos de Andersson y Bodin (2009) y Zetterberg, Mörtberg y Balfors (2010), se clasificó cada una de las conexiones de acuerdo a su menor costo a partir de cortes naturales (*natural breaks*), lo cual permite crear agrupaciones de clases de datos maximizando sus diferencias; de esta forma se obtiene una red más depurada con las conexiones óptimas dentro del rango de 750 m (rango máximo de desplazamiento a pie para acceder a un espacio verde), calificadas de acuerdo a su condicionante de pendiente. La Figura 8 corresponde a la estructura de conexión óptima de la red que integra todos los parches con su menor costo de desplazamiento entre el rango de 750 m, clasificados por el condicionante de pendiente.

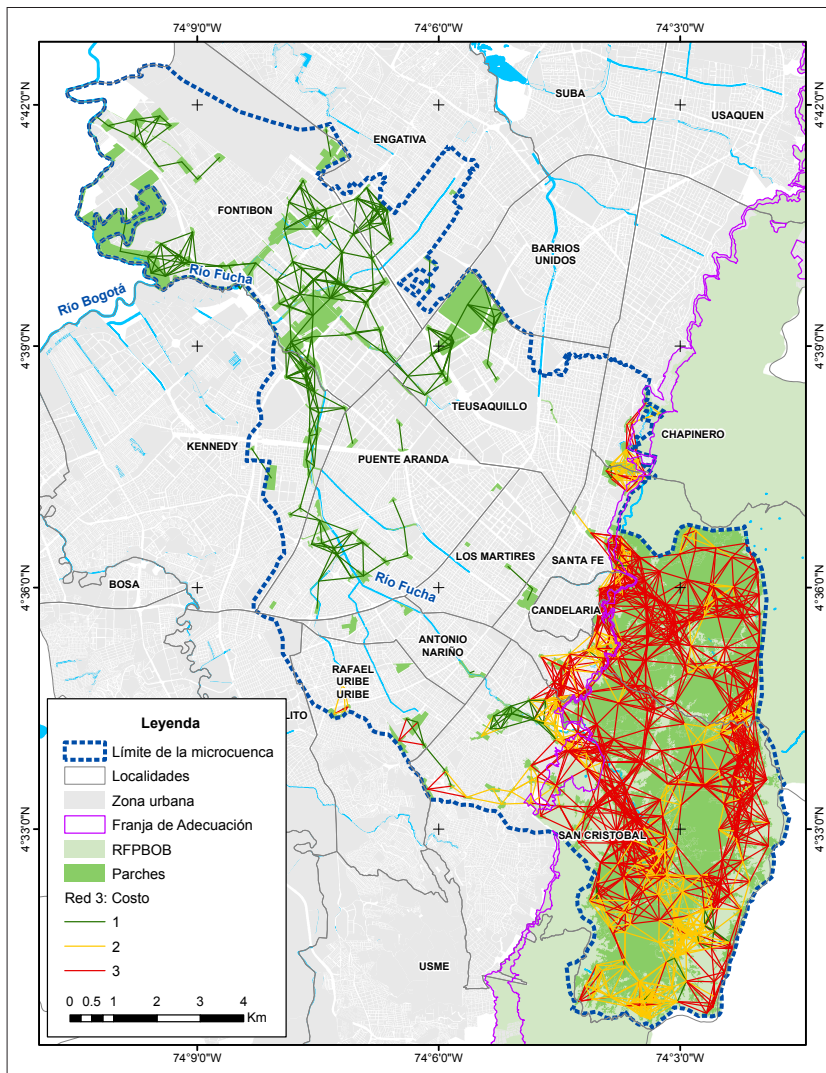


Figura 7. Estructura de conexión óptima (menor costo). Fuente de cartografía base: IDECA (2018).

## RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA OFERTA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Con base en los resultados obtenidos se propone para el mejoramiento de la oferta de espacios verdes, como potenciales prestadores de SE, un análisis basado en los parámetros definidos por la herramienta GI-Val (Versión 1.6, 2018), que permite evaluar activos verdes y sus beneficios potenciales.

Para GI-Val la infraestructura verde es considerada como una colección de “activos naturales” que proporcionan múltiples funciones y servicios a la población, aportando al equilibrio de los centros

urbanos y su vinculación con las áreas rurales (Ashton *et al.*, 2010). Debido a que plataformas como esta son diseñadas para su aplicación en entornos medianamente urbanizados, con valoraciones económicas que difieren del contexto del proyecto, las herramientas de GI-Val son sólo una referencia para construir una valoración propia de SE, con la disponibilidad de información con que cuenta el Distrito de Bogotá.

Del grupo de beneficios “lugar y comunidades” de GI-Val, se calcula el área actual de zonas verdes activas, luego el área de zonas verdes potenciales que serán parte de esta clasificación, es decir, todas las áreas no edificadas que cumplan con los

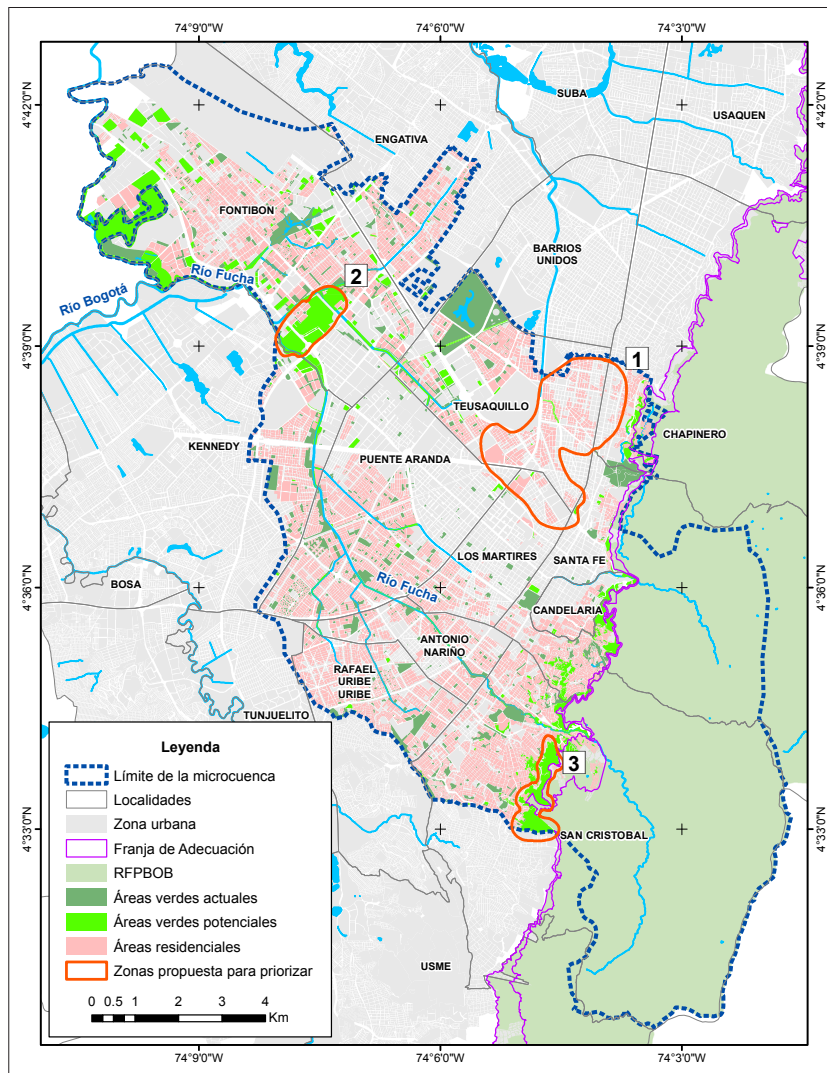


Figura 8. Áreas verdes actuales y áreas verdes potenciales. Fuente de cartografía base: IDECA (2018).

siguientes criterios: un área mínima de 1 000 m<sup>2</sup> (definida para parques zonales según el Plan de Ordenamiento Territorial vigente), no encontrarse dentro de áreas de reserva vial y áreas a una distancia mínima de 300 m de una zona residencial, y áreas que se excluyen por encontrarse adyacentes al aeropuerto, pues se consideran parte de la zona de amortiguación de este equipamiento. Se identifica de igual manera el número de predios en zonas residenciales que se benefician directamente de la zona verde en cuestión, es decir, en el radio de 300 m.

Como muestra la Tabla 2, la suma de las áreas verdes actuales y las no edificadas podrían casi du-

plicar la oferta de espacios verdes para la cuenca. Sin embargo, este aumento no implica un cambio significativo en la extensión de SE culturales, lo cual se debe a que las áreas residenciales se encuentran concentradas en sectores específicos. En el caso de las áreas identificadas con déficit de espacios verdes en las localidades de Teusaquillo, Santa Fe y Los Mártires, por ser principalmente comerciales, densamente edificadas y con pocas áreas libres, se observa que la población que vive en las áreas residenciales no se vería beneficiada con el aumento de zonas verdes, para esto se necesita generar otras estrategias que busquen mejorar el ambiente urbano.

Tabla 2. Potencialización de áreas verdes para fortalecer SE culturales

| Concepto                                                                                 | Áreas y valores |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Áreas verdes actuales declaradas                                                         | 758.85 ha       |
| Áreas sin edificar que pueden ser potencializadas como espacios verdes de la ciudad      | 654.85 ha       |
| Total de áreas verdes posibles para la cuenca                                            | 1 413.7 ha      |
| Porcentaje de áreas a potencializar                                                      | 46.32%          |
| Predios de uso residencial                                                               | 151.262         |
| Predios de uso residencial que se benefician directamente a 300 m                        | 139.573         |
| Predios finales que se pueden beneficiar a 300 m con la inclusión de nuevas áreas verdes | 144.897         |
| Porcentaje de aumento de beneficio                                                       | 3.5%            |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, tanto en el análisis de configuración del paisaje como en el de SE a partir de la herramienta GI-Val, se recomienda la priorización de tres áreas: 1) sector de la cuenca media-baja en la localidad de Teusaquillo, 2) localidad de Fontibón y 3) zona oriental de conexión potencial entre el área urbana, las AOPP y la RFPBOB. El área 1, en la localidad de Teusaquillo, se propone como zona prioritaria, ya que según las diferentes métricas analizadas es el espacio dentro del área urbana de la microcuenca que presenta una menor oferta de áreas verdes, y que tiene, a su vez, ausencia de espacios libres para la creación de éstas. El área 2 ha tenido durante los últimos años un desarrollo urbanístico importante, que se extiende hacia el oriente y tiende a consolidarse como un área residencial; dado que la zona de Fontibón tiene un acceso limitado a SE culturales del área de protección de los cerros orientales y se encuentra sobre este flanco presionada por zonas industriales y comerciales que afectan la ronda del río Fucha, se propone priorizar la oferta de áreas verdes sobre el desarrollo urbanístico con el fin de amortiguar los posibles efectos de éste. Finalmente, el área 3 se propone como un potencial para disminuir la

construcción informal, generar áreas de transición entre las AOPP y la RFPBOB con el área urbana y espacios de acceso a SE culturales a una población que en este sector de la ciudad se caracteriza por sus condiciones económicas precarias.

En cuanto a los posibles SE culturales, de recreación y esparcimiento en el área rural de la microcuenca, la red de conexión óptima generada a partir del radio 3 (750 m) es un insumo para zonificar posibles corredores bajo parámetros específicos para este tipo de área, ya que el manejo debe ser diferenciado de las áreas verdes urbanas.

## CONCLUSIONES

La metodología utilizada permitió analizar la configuración del paisaje desde diferentes ángulos: en la dimensión vertical se logró un análisis de un sector específico dentro de la microcuenca, donde a partir de la generalización de la escala de los elementos cartográficos, como el eje del río y la forma del terreno, se crea un producto gráfico de los cambios de los elementos del paisaje que difícilmente se logra expresar en la cartografía cartesiana. El uso del perfil es un complemento de la comprensión de la configuración del paisaje que, con el apoyo de la observación en campo, aporta a la descripción de evidencias de las afectaciones al cauce del río Fucha, como canalización, invasión de ronda, presencia de basura y escombros, y la falta de integración del río con las áreas verdes sobre su ronda como parte del paisaje.

En la dimensión horizontal el cálculo de diferentes métricas creó una visión más amplia de los patrones de organización de los elementos del paisaje; rebatió la idea de que la cuenca se encontraba afectada principalmente por actividades industriales, como lo sugirió la revisión de antecedentes. Las métricas confirman que las áreas residenciales son la clase con mayor densidad y que los usos industriales se encuentran en un sector específico, hacia el centro del área urbana de la microcuenca (esto dado por las métricas de agregación y compacidad de clase), mientras que las áreas verdes urbanas y los espacios de recreación son elementos que se encuentran más dispersos y,

por lo tanto, la posibilidad de conectarse se limita a ciertos sectores de la microcuenca. Los resultados indican que entre la RFPBOB y las AOPP existe una amplia posibilidad de conexión entre zonas verdes existentes y posibles áreas a adecuar en zonas no edificadas, conectándolas con espacios verdes en las zonas más urbanizadas.

Por su parte, la dimensión transversal permite ver más allá de la organización espacial de patrones al analizar las relaciones que se dan entre los diferentes elementos del paisaje, bajo un objetivo de observación particular, en este caso, la posible conexión entre los espacios verdes urbanos y las áreas menos intervenidas, y las áreas de protección de los cerros orientales. El análisis permitió identificar un déficit de espacios verdes en las localidades de Teusaquillo, Puente Aranda, Los Mártires y Santa Fe, y una efectiva conexión en red de las áreas verdes que se encuentran hacia el occidente, suroccidente y oriente de la microcuenca.

El análisis espacial, en el que se basa el cálculo del porcentaje de oferta de espacios verdes posibles y las áreas residenciales que serían beneficiadas, concluye que no necesariamente la duplicación de áreas verdes implica un incremento de la cobertura de SE culturales en la microcuenca. Se considera necesario complementar los resultados con un análisis más a fondo de las probabilidades de ampliar la oferta de espacios verdes para la ciudad, ya que es posible que los predios que se encuentran dentro de la categoría “no edificados”, que podrían aportar a la ampliación de SE culturales, sean de carácter privado. De igual forma, es necesario considerar los impactos sobre el cauce provenientes de las áreas de uso residencial, como conexiones erradas, presencia de basura y usos inadecuados de las rondas, pues si bien el uso industrial puede generar un mayor impacto sobre el río, el área residencial es dominante, a lo que se suman las tendencias de urbanización reciente, que pueden implicar más afectaciones sobre el río.

Con respecto a esto último, se considera que las tres áreas propuestas como prioritarias para la intervención responden a dos tipos de paisajes: la primera se enfoca a la “reparación”, es decir, generar alternativas ante una zona ya construida, con déficit de áreas verdes, mientras que la segunda y tercera

áreas se enfocan a la “prevención” de la densificación de construcciones, lo que puede conllevar a una nueva área de déficit, que no sólo implica la pérdida de posibles áreas para la prestación de SE culturales, sino también de áreas que pueden ser amortiguadoras de las afectaciones ambientales que tiene una ciudad de la magnitud de Bogotá.

## REFERENCIAS

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2011). *Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas*. Recuperado de <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0722854.pdf>
- Andersson, E. y Bodin, Ö. (2009). Practical Tool for Landscape Planning? An Empirical Investigation of Network Based Models of Habitat Fragmentation. *Ecography*, 32(1), 123-132. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05435.x>
- Ashton, R., Baker, R., Dean, J., Defra, G., Jaluzot, A., Jones, N. y Wilmers, P. (2010). *Building Natural Value for Sustainable Economic Development. The Green Infrastructure Valuation Toolkit User Guide*. Recuperado de <https://www.merseyforest.org.uk/services/gi-val/>
- Barrera-Lobatón, S. (2011). *Consideraciones teóricas para el análisis del paisaje. La Metodología de los Eventos Relacionales (MERAP)*. Bogotá.
- Barrera-Lobatón, S. (2014). Consideraciones teóricas para el análisis del paisaje: La metodología de los eventos relacionales. En *Perspectivas del paisaje* (pp. 29-54). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- Bodin, Ö. y Zetterberg, A. (2010). MatrixGreen. Landscape Ecological Network Analysis Tool (Versión 1.10.1) [Software]. Recuperado de <https://www.stockholmresilience.org/research/modelling-and-visualisation-lab/matrixgreen.html>
- Castillo, G. (2013). *Indicadores ambientales de espacio público en Bogotá*. Tesis de Maestría en Sostenibilidad. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20822/Mem%C3%B2ria%20-%20Ginna%20Alexandra%20CASTILLO.pdf>
- Cotler, H. y Priego, A. (2007). El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: El caso de la cuenca Lerma-Chapala. En *El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental* (2a. ed.) (pp. 79-89).
- Frank, S. y Walz, U. (2017). Landscape Metrics. En *Mapping Ecosystem Services* (1a. ed.).

- García, N. y Pérez, T. (2009). *El verde urbano: Indicador de sostenibilidad. Su incidencia en la calidad de vida del sancristobalense*. 11.
- GI-Val (Green Infrastructure Valuation Toolkit). (Versión 1.6) [Software]. (2018). Recuperado de <http://bit.ly/givaluationtoolkit>
- Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección (2015). IndiFrag v2.1: An Object-Based Fragmentation Analysis Software Tool (Versión 2.1) [Software]. Recuperado de <http://cgat.webs.upv.es/software/>
- IDECA (2018). Mapa de referencia para Bogotá, D. C. Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital. Recuperado de <http://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/mapa-de-referencia-para-bogota-dc>
- IGAC (2014). *Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso*. Recuperado de <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/M40100-02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf>
- IGAC (2016). *Metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito*. Recuperado de <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/procedimientos%202008/2016/M40100-03-16V7%20Elaborar%20y%20actualizar%20areas%20homogeneas%20de%20tierras%20con%20fines%20multiproposito%20CNC.pdf>
- JAXA/METI (2011). AP\_26958\_FBS\_F0070\_RT1. En *ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected High Resolution*.
- Lattera, P., Paruelo, J. M. y Jobbágy, E. G. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Recuperado de [https://www.agro.uba.ar/users/paruelo/libros/Latteraetal\\_ValoracionServEcosistemicos.pdf](https://www.agro.uba.ar/users/paruelo/libros/Latteraetal_ValoracionServEcosistemicos.pdf)
- Leitao, A. B., Miller, J., Ahern, J. y McGarigal, K. (2012). *Measuring Landscapes: A Planner's Handbook*. Washington: Island Press.
- McGarigal, K. (2006). Landscape Pattern Metrics. En *Encyclopedia of Environmetrics* (vol. 2). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470057339.val006>
- Monroy Hernández, J. (2014). Las áreas protegidas como elemento ordenador de los paisajes de borde. En *Perspectivas ambientales. Perspectivas sobre el paisaje* (pp. 419-436). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- Monroy Hernández, J. (2017). *Paisajes de borde difuso en áreas de montaña contiguas a grandes ciudades. El caso de los cerros orientales de Bogotá*. Tesis de Maestría en Geografía. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de [http://www.bdigital.unal.edu.co/56708/1/52980523\\_2017.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/56708/1/52980523_2017.pdf)
- Morlans, M. C. (2005). Estructura del paisaje y sus funciones. En *Introducción a la ecología del paisaje* (2a. ed., vol. 6). Catamarca: Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca.
- Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible (2010). *Libro verde del medio ambiente urbano* (2a. ed.). Recuperado de [http://www.bcnecologia.net/sites/default/files/publicaciones/docs/libro\\_verde\\_medio\\_ambiente\\_urbano\\_partes\\_12\\_y\\_3\\_salida.pdf](http://www.bcnecologia.net/sites/default/files/publicaciones/docs/libro_verde_medio_ambiente_urbano_partes_12_y_3_salida.pdf)
- Reyes Pácke, S. y Figueroa Aldunce, I. M. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE*, 36(109), 89-110. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612010000300004>
- Salazar, P. y Cusva, A. (2014). Administración del paisaje. En *Perspectivas sobre el paisaje*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- Salinas Varela, E. (2009). Fragmentación urbana y su relevancia en la planificación urbana y territorial actual. *Ignire. Centro de Estudio de Política Pública*.
- Santos, M. (1996). *Metamorfosis del espacio habitado*. Barcelona: Oikos-Tau.
- Sapena, M. y Ruiz, L. A. (2015a). Analysis of Urban Development by Means of Multi-Temporal Fragmentation Metrics from LULC Data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7W3. Recuperado de <https://doi.org/doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1411-2015>
- Sapena, M. y Ruiz, L. A. (2015b). Descripción y cálculo de índices de fragmentación urbana: Herramienta IndiFrag. *Revista de Teledetección*, 43, 77-89. <https://doi.org/10.4995/raet.2015.3476>
- Scherr, S. J., Shames, S. y Friedman, R. (2013). Defining Integrated Landscape Management for Policy Makers. *Ecoagriculture Policy Focus*, 10, 1-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00029-2>
- Setten, G., Stenseke, M. y Moen, J. (2012). Ecosystem Services and Landscape Management: Three Challenges and One Plea. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(4), 305-312. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/21513732.2012.722127>
- Soriano Belda, I. (2017). *Análisis comparativo de la fragmentación de zonas verdes intraurbanas a partir de cartografía de usos del suelo derivadas de imágenes Sentinel-2. Relación con indicadores de calidad ambiental*. Tesis de Maestría. Universitat Politècnica de València, España.
- Szek, M. (2012). *Fragmentación del paisaje en áreas protegidas*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.

- Recuperado de <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/41998>
- Urquijo Torres, P. y Barrera Bassols, N. (2009). Historia y paisaje, explorando un concepto geográfico monista. *Andamios*, 5(10), 227-252. <https://doi.org/10.29092/uacm.v5i10.175>
- Zetterberg, A., Mörtberg, U. M. y Balfors, B. (2010). Making Graph Theory Operational for Landscape Ecological Assessments, Planning and Design. *Landscape and Urban Planning*, 95(4), 181-191. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.01.002>
- Zoido Naranjo, F. (2002). El paisaje y su utilidad para la ordenación del territorio. En *Paisaje y ordenación del territorio* (pp. 21-32). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=9142>