



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Aplicación metodológica para la consolidación de un corredor ecológico multifuncional en área urbana. Caso Envigado, Colombia.

Natalia Isabel Soto Gómez

Ingeniera Forestal

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Arquitectura, Escuela de Planeación Urbana
Medellín, Colombia
2017

Aplicación metodológica para la consolidación de un corredor ecológico multifuncional en área urbana. Caso Envigado, Colombia.

I.F. Natalia Isabel Soto Gómez

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Estudios Urbano Regionales

Director:

I.F. Ph.D en Ciencias Ambientales Luis Aníbal Vélez Restrepo

Línea de Investigación:

Paisaje, medio ambiente y territorio

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Arquitectura, Escuela de Planeación Urbano - Regional

Medellín, Colombia

2017

“No podemos quedarnos enfrascados en la vivienda, tenemos que ir mucho más allá para tener lugares que nos brinden oportunidades y condiciones a todos”.

Joseph Stiglitz.

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento sincero a las siguientes personas y organizaciones:

A mi abuela, padres y hermanos por su incansable apoyo en mi formación y educación como persona. Muy especialmente a Juan Carlos Arango Vélez por su apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional de Colombia, por brindarme las herramientas necesarias para alimentar el constante camino del aprendizaje.

Al profesor Luis Aníbal Vélez Restrepo asociado a la Escuela de Planeación Urbano-Regional de la Facultad de Arquitectura; mi asesor, por su confianza en mi trabajo, sus valiosos aportes, apoyo y orientación recibidos durante todo el desarrollo de este trabajo.

Muy especialmente a la profesora Patricia Jaramillo asociada al Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión de la Facultad de Minas, por su valiosa contribución, tiempo y apoyo en el tema de Análisis de Decisión.

A mis amigas Carolina Ríos Echeverri y Ana Milena Jiménez Guerra por sus apreciados y oportunos aportes.

A la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario del Municipio de Envigado por su oportuna diligencia en la consecución de toda la información necesaria para lograr los análisis presentados en este trabajo.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo proponer la estructuración espacial de un corredor ecológico multifuncional como componente del paisaje urbano, en un tramo de la microcuenca de la quebrada La Sebastiana en jurisdicción del municipio de Envigado, Antioquia. Se recurre a la identificación y análisis de la configuración espacial de los elementos verdes urbanos presentes, a partir del uso de métricas del paisaje con el software *Arcgis* y el análisis multicriterio con el Software *SuperDecision*. La utilización conjunta de estas herramientas permite la toma de decisión con ámbito territorial, a la vez que se acude de forma sistemática a conocimientos técnicos, enmarcados dentro de principios propios de la ecología del paisaje e integrando propósitos sociales de conexión de espacios verdes para las personas. Finalmente se hace uso de la extensión *Corridor Designer* para proyectar la ruta de menor costo sin considerar una especie de fauna específica.

A tales efectos, en el capítulo 1 se presenta una aproximación teórica, haciendo énfasis en la relación crecimiento urbano - estructura verde, y el verde urbano dentro del espacio público como elemento de planificación. En el capítulo 2 se presenta el área de estudio, su composición espacial y estructural y el grupo focal para el análisis multifuncional. La metodología utilizada para la selección de fragmentos y corredores, la selección de polígonos a conectar y para el diseño de un corredor de conectividad multifuncional, son presentados en el capítulo 3. Los resultados obtenidos son reflejados en el capítulo 4, en el cual se muestran las comparaciones entre métricas a nivel de parche y paisaje; la selección de fragmentos y corredor multifuncional, el ranking de priorización obtenido a través del modelo de análisis de decisión – AHP; y finalmente, se presenta el corredor obtenido a partir de la conectividad entre el polígono seleccionado según el ranking de alternativas y el polígono seleccionado de especial importancia dentro de la microcuenca. El capítulo 5 presenta una breve discusión acerca del problema planteado, los resultados obtenidos y el método utilizado.

Finalmente se presentan una breve conclusión y recomendaciones en el capítulo 5. Así, esta propuesta logra articular el reconocimiento del entorno natural a través de un valor ambiental, ecológico y social como herramienta de planificación del verde urbano, proponiendo su reconfiguración desde la planeación, como un sistema de espacios públicos articulados, en el que cada elemento según sus características logra una funcionalidad tanto ecológica como social.

Palabras clave: (ecología del paisaje, conectividad ecológica urbana, corredor ecológico multifuncional, humanos, mamíferos, Proceso Analítico Jerárquico, ruta de menor costo).

Abstract

The present work aims to propose the spatial structuring of a multifunctional ecological corridor as a component of the urban landscape, in a section of the microbasin of the La Sebastiana stream in the jurisdiction of the municipality of Envigado, Antioquia. The identification and analysis of the spatial configuration of the urban green elements present is used, from the use of landscape metrics with Arcgis software and multicriteria analysis with SuperDecision software. The joint use of these tools allows the decision making with territorial scope, at the same time that systematically goes to technical knowledge, framed within principles of the ecology of the landscape and integrating social purposes of connection of green spaces for people. Finally, the Corridor Designer extension is used to project the lowest cost route without considering a specific fauna species.

To this end, chapter 1 presents a theoretical approach, emphasizing the relationship between urban growth - green structure, and urban green within public space as a planning element. Chapter 2 presents the study area, its spatial and structural composition and the focus group for the multifunctional analysis. The methodology used for the selection of fragments and corridors, the selection of polygons to connect and for the design of a multifunctional connectivity corridor, are presented in chapter 3. The results obtained are reflected in chapter 4, which shows the comparisons between metrics at the patch and landscape level; the selection of fragments and multifunctional corridor, the prioritization ranking obtained through the decision analysis model – AHP; and finally, the corridor obtained from the connectivity between the polygon selected according to the ranking of alternatives and the selected polygon of special importance within the micro-basin is presented. Chapter 5 presents a brief discussion about the problem posed, the results obtained and the method used.

Finally, a brief conclusion and recommendations are presented in chapter 5. Thus, this proposal manages to articulate the recognition of the natural environment through an environmental, ecological and social value as an urban green planning tool, proposing its reconfiguration from planning, as a system of articulated public spaces, in which each element according to its characteristics achieves both ecological and social functionality.

Keywords: Landscape ecology, urban ecological connectivity, multifunctional ecological corridor, human, mammals, Hierarchical Analytical Process, least cost route

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XIII
Introducción	1
1. Marco analítico y conceptual	3
1.1 El Crecimiento urbano: proceso que invisibiliza la estructura verde	3
1.2 Las zonas verdes como elemento del espacio público urbano.....	5
1.3 Ecología del paisaje en el marco de la planificación urbana.	7
1.3.1 Fragmentación del verde urbano.....	8
1.3.2 Conectividad ecológica	10
1.3.3 Corredores ecológicos	13
2. Metodología	15
2.1 Área de estudio.....	15
2.1.1 La microcuenca La Sebastiana.	16
2.1.2 Área de análisis.....	20
2.2 Métodos.....	27
2.2.1 Grupos focales para conectividad de los espacios verdes	28
2.2.2 Análisis espacial de las tipologías verdes.....	29
2.2.3 Selección de fragmentos y corredores	32
2.2.4 Selección de polígono óptimo para el inicio de la ruta de conexión a partir de la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico – AHP	33
2.2.5 Determinación del corredor para la conectividad a partir de la aplicación de método de costo de viaje.....	38

3. Resultados	42
3.1 La estructura espacial del espacio verde.....	42
3.2 Fragmentos y corredores seleccionados	45
3.3 Alternativa seleccionada para el inicio de la ruta de conexión a partir de la implementación del Proceso Analítico Jerárquico – AHP.	49
3.4 Corredor ecológico definido para la conectividad del paisaje.....	51
4. Discusión	53
5. Conclusiones y recomendaciones	63
Bibliografía	69

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Grados de alteración del paisaje. Fuente. Modificado a partir de (de Andalucía, 2011).....	9
Figura 1-2. La permeabilidad del paisaje puede favorecerse (a) manteniendo la totalidad del mosaico entre dos áreas fuentes o (b, c) manteniendo ciertos elementos del paisaje que permiten la dispersión de ciertas especies. Estos elementos dispersivos pueden ser continuos (b) o discontinuos (c). Fuente. Modificado a partir de (de Andalucía, 2011)....	12
Figura 2-1. Localización de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2016); (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006).	16
Figura 2-2. Localización zona de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006).....	17
Figura 2-3. Tipología de zonas verdes y su porcentaje de representación dentro de la microcuenca La Sebastiana.	20
Figura 2-4. Localización área de análisis. Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006).....	21
Figura 2-5. Zona de estudio: a. Alta: Cr 27# 36 Sur199. b. Media-alta: Cr 27D # 36 Sur82. c. Medio: Cr 27g conTrv36 Sur. d. Medio bajo: Trv 36 Sur # 28-22. e. Desembocadura: Trv 36Sur con Dg 32. Fuente. Registro fotográfico personal.	23
Figura 2-6. Diagrama metodológico. Fase preliminar. Fuente. Elaboración propia.	28

Figura 2-7. Modelo Jerárquico. Criterios y pesos de importancia según objetivo de decisión. Fuente. Elaboración propia.	36
Figura 3-1. Métricas implementadas a nivel de paisaje para la zona de estudio.....	43
Figura 3-2. Área de parche (AP) de la zona de estudio.	44
Figura 3-3. Índice de forma promedio (MSI) por fragmento de la zona de estudio.....	45
Figura 3-4. Mapa distribución espacial de fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal humanos dentro del área de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de (Colombia, 2015) y (M. De Envigado, 2014).	47
Figura 3-5. Mapa distribución espacial de fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal mamíferos dentro del área de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de (Colombia, 2015) y (M. De Envigado, 2014).....	48
Figura 3-6. Matriz de comparaciones. Fuente. Elaboración propia a partir del uso de la herramienta Ratings del software Super Decision (Creative Decisions Foundation, 2016).	49
Figura 3-7. Ranking de priorización de alternativas. Fuente. (Creative Decisions Foundation. , 2017).....	50
Figura 3-8. Red mamíferos_1M5_797. Fuente. Elaboración propia a partir de (Alcaldía de Envigado, 2015), (Alcaldía de Envigado, 2006)(Colombia, 2015) y (M. De Envigado, 2014).	52
Figura 4-1. Mapa de resistencia al desplazamiento para cada pixel.....	58
Figura 5-1. Cerramiento de quebrada en zona de estudio. a. Parte alta sector bomba Terpel. b. Parte baja sector barrio La Sebastiana. Fuente. Registro fotográfico personal.	64

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1. Relación área, barrios y veredas pertenecientes a la microcuenca La Sebastiana	18
Tabla 2-2. Relación tipología zona verde- No. de parches – Área de la microcuenca La Sebastiana.	19
Tabla 2-3. Caracterización morfométrica del área de análisis.	21
Tabla 2-4. Relación tipología zona verde- No. de parches – Área por barrio pertenecientes al área de estudio.	25
Tabla 2-5. Riesgo asociado a los barrios La Inmaculada, La Pradera y La Sebastiana..	27
Tabla 2-6. Métricas a nivel de parche y paisaje.....	30
Tabla 2-7. Valores determinantes para la clasificación de fragmentos y corredores para cada uno de los grupos focales.	33
Tabla 2-8. Criterios, su valoración y favorabilidad según objetivo de conectividad.....	37
Tabla 2-9. Nivel de preferencia por categoría de cada criterio.	38
Tabla 2-10. Elementos para para la construcción de raster de resistencia de hábitat. ...	40
Tabla 3-1. Área de parche (AP) de la zona de estudio.	44
Tabla 3-2. Índice de forma promedio (MSI) por fragmento de la zona de estudio.....	44

Tabla 3-3. Fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal humanos..... 46

Tabla 3-4. Fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal los mamíferos. . 46

Introducción

Una de las consecuencias del crecimiento acelerado y desordenado al interior de las ciudades, ha sido una planificación espacial que poco reconoce una estrategia de asociación entre elementos del paisaje. Este tipo de acciones han influido en que los espacios verdes se configuren de forma discontinua o fragmentada, presentándose una alteración de la permeabilidad y la estructura del paisaje que ofrecen estos elementos, limitando la colonización y culminación del ciclo de vida de algunas especies de fauna (Urbina-C, 2010). Aunque esta fragmentación representa un impedimento para muchas especies, para (Parker, Head, Chisholm, & Feneley, 2008) estos elementos son de suma importancia gracias a que:

Contienen la mayor parte de la diversidad biológica en pequeños fragmentos de vegetación autóctona que se han dejado de lado durante el desarrollo (Rudd et al., 2002). Estos fragmentos son comúnmente sujetos a altos niveles de perturbación, debido a la naturaleza de las actividades humanas llevadas a cabo dentro o adyacentes a estas áreas (Marzluff y Ewing, 2001; Fernández-Juricic, 2000). (p.47).

Sin embargo, con el fin de contrarrestar los efectos negativos que trae consigo la fragmentación de elementos verdes, “durante más de 30 años se ha sugerido que la mejora del grado de conectividad entre los parches de hábitat, es esencial para conservar la biodiversidad (Diamond, 1975; Hanski y Gilpin, 1997; Forman, 1995; Bennett, 1990)” (Parker et al., 2008, p.47).

El concepto de conectividad se enmarca dentro del paradigma de la ecología del paisaje, permitiendo su comprensión a partir del uso de métricas e índices, con el objetivo de lograr potenciar beneficios ecológicos, sociales y ambientales. Este concepto se ha usado para direccionar acciones enmarcadas en la planificación de las ciudades hacia el establecimiento de un modelo sostenible donde se reconocen las funciones ambientales del espacio público (Sanabria Artunduaga, 2012), y se impulsa la implementación de

corredores ecológicos para contrarrestar el deterioro de cauces y sus márgenes a la vez que se busca favorecer el establecimiento y desarrollo de especies de fauna asociada a una mayor extensión geográfica (Arijit , Bijan , & Msr , 2010); esto con el fin de mantener o aumentar el flujo de servicios ambientales a través del territorio y permitir conectar y consolidar las redes ambientales de la ciudad (López Vargas, 2014).

En las ciudades, el potencial de conectividad se reconoce a partir de la asociatividad de poblaciones para facilitar movimientos, promoviendo de esta manera no solo “el movimiento en cuanto a dinámica y distribución de especies de fauna y funcionamiento de ecosistemas (Jeltsch et al. 2013)” (LaPoint, Balkenhol, Hale, Sadler, & Van der Ree, 2015, p.868); si no también en la promoción de espacios al aire libre donde se mejore la salud y el bienestar; todo esto a través acciones de apropiación que permitan el mejoramiento de la estructura del paisaje a la vez que se contribuye por el “mejoramiento de la calidad del aire, la regulación de la temperatura y de espacios para realizar actividades físicas y recreativas .. entre otras (Kaplan y Kaplan, 1989; Schipperijn et al., 2010)” (Mena, Ormazábal, Morales, Santelices, & Gajardo, 2011, p. 522).

Apoyado en lo anteriormente expuesto, se propone una estrategia metodológica complementaria a las herramientas actualmente usadas para intervenir el territorio desde la perspectiva de la conectividad ecológica. Este trabajo se desarrolla para la zona urbana de la microcuenca de la quebrada La Sebastiana del municipio de Envigado, como propuesta para mejorar la oferta de bienes y servicios ambientales y paisajísticos, tanto para humanos como para la fauna asociada a esta zona de estudio. Esto se logra a partir de la construcción de un modelo de conectividad espacial incorporando conceptos asociados a la ecología del paisaje y al análisis de toma de decisión; permitiendo la recomposición y/o la conservación de la estructura verde. Se presenta un corredor multifuncional y se plantean recomendaciones a partir de elementos de forma y/o recomposición, que permiten potenciar funciones ambientales-paisajísticas y recreativas para el beneficio tanto de la población de fauna como de la humana.

1. Marco analítico y conceptual

Este capítulo se desarrolla con el fin de dar contexto al lector acerca de los conceptos a los que se acude a lo largo del desarrollo de este estudio, esto se logra a partir de una minuciosa búsqueda de información secundaria y de la confrontación de conceptos con el fin de seleccionar los adecuados para este caso en particular.

1.1 El Crecimiento urbano: proceso que invisibiliza la estructura verde

“La ciudad es urbanismo, cultura, comunidad, cohesión, polis, lugar de poder, de la política como organización y representación de la sociedad, donde se expresan los grupos de poder, los dominados, los marginados, los conflictos, ... es concentración de población” (Borja & Muxí, 2000, p. 20). En otras palabras, las ciudades son sumideros de un todo, situación que las direcciona a frecuentes retos asociados a la expansión de sus límites urbanos y al aumento de migrantes; en esta medida, a la demanda creciente por recursos naturales. Esta situación se ha agudizado en los últimos años, pues según (Naciones Unidas, 2017) las ciudades ocupan el 2% del territorio del planeta y la mitad de la humanidad (3500 millones de personas) vive en las ciudades consumiendo el 75% de los recursos naturales. Según proyecciones se espera que para el año 2030 el 60% de la población mundial viva en las ciudades.

En las ciudades de América Latina, la recepción desmedida de migraciones del campo a la ciudad e intrametropolitanas, es un fenómeno especialmente evidenciado (P. da Cunha & Rodríguez Vignoli, 2009); generándose un elevado gasto en movilidad y de emisiones de gases de efecto invernadero, deteriorando la estructura natural y aumentando la probabilidad de impactos que afectan a las comunidades y finalmente haciendo nuestras ciudades y regiones insostenibles (Botequilha Leitão & Ahern, 2002).

La rápida urbanización y crecimiento poblacional se evidencia a través de una difusa frontera entre lo urbano y lo rural, la proliferación de infraestructuras artificializadas y la legitimación de que los usos del suelo puedan ser cambiados sin considerar argumentos tan importantes y necesarios como su calidad. Estas acciones generan cambios en la calidad del aire, del agua y del suelo, en la estabilidad de laderas, en los procesos asociados a la dinámica del paisaje... entre otros; lo que se traduce en un aislamiento y/o artificialización de los elementos verdes, logrando “comprometer el flujo de materia y energía, la dispersión y abundancia de recursos, y de los individuos de fauna asociada (Kattan & Murcia, 2003)” (Phillips B. & Navarrete E., 2009), p. 1); causando alteraciones a procesos naturales como el régimen hidrológico y la consecuente pérdida de biodiversidad (IDEAM - Instituto de Hidrología, 2015). adicionalmente “esta tendencia al aislamiento o fragmentación de los espacios verdes urbanos, afecta negativamente los posibles servicios que pueden prestar los ecosistemas Grimm, N.B. et al. (2008) & Niemela, J. et al. (2010)” (Lee, Chon, & Ahn, 2014, p.7566); logrando que los paisajes urbanos se conformen en mosaicos diferentes, que quedan inmersos dentro de matrices urbanas (McHugh & Thompson, 2011).

Con el fin de crear opciones que permitan atenuar esta situación, los esfuerzos en las ciudades se han direccionado hacia el establecimiento de un modelo consecuente con el desarrollo de una ciudad sostenible: la ciudad compacta; a partir de la cual se plantean mecanismos de mitigación como acortar distancias, promover el uso de medios no motorizados para la movilización, controlar el uso fragmentado del suelo ...entre otros; medidas con las que se espera poder mitigar la presión sobre la ruralidad, la base natural (Botequilha et al., 2002), y fortalecer la diferenciación de la frontera entre el sistema natural y el construido. Complementario a estas acciones Ramos (2015) propone articular mecanismos tanto de indole ambiental como de inclusión social:

“Integración a la planeación del uso del suelo, nuevas formas de diseño, tecnologías sustentables, la preservación de cinturones verdes, la preservación de ríos, retiros y cuencas de inundación, participación y gestión ciudadana; todo esto con el fin de reconvertir las urbes de acuerdo a su propia realidad y en espacios socialmente más justos, integradores y aptos frente al cambio climático (Álvarez y Delgado, 2014)”. (p.48).

1.2 Las zonas verdes: Elementos del espacio público urbano.

Para (Borja & Muxí, 2000) el espacio público es la representación física de la expresión y de la diversidad, es el espacio principal del urbanismo, de la cultura urbana y de la ciudadanía. El espacio público es un sistema de elementos de uso común donde las personas se permiten el paseo, el ejercicio, la dispersión y el encuentro dándole sentido a cada zona; es el espacio donde se acentúan dinámicas sociales y ambientales de las acciones privadas, llevando a grados considerables de tensión las necesidades colectivas y la demanda por bienes públicos de mejor calidad (Bettini, 1998).

En el espacio público la estructura verde actúa como elemento constitutivo y “cumple funciones estéticas y paisajísticas contribuyendo a la oxigenación, la regulación hídrica, la reducción del impacto de la ciudad construida sobre el medio ambiente (Tella & Potocko, 2012)” (Ortiz, 2014, p. 6). Hoy estas áreas toman especial relevancia para las ciudades, pues estas en su afán de ser cada vez más competitivas en un mundo esencialmente globalizado, retoman el buen uso y manejo de estos elementos como muestra del “compromiso en mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, reevaluando su concepto de lo “público” y a partir de esto, promoviendo la incorporación y mejoramiento de zonas verdes, parques e infraestructura para la recreación” (Gehl, 2014, p. 11); pues un buen patrón de estas áreas en el espacio público contribuye al desarrollo de infraestructura, permite mayor productividad, enriquece la calidad de vida, promueve la equidad y la inclusión social y mejora la sostenibilidad ambiental (Gehl, 2014). Las zonas verdes asociadas al espacio público, deben ser concebidos desde el convencimiento de que los procesos naturales y humanos en la ciudad están inseparablemente unidos (Hough, 1998, p. 6).

En este sentido, instituciones como (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]; Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2014), promueven la mejora del espacio público en las ciudades a través de adelantos en cuanto a calidad, cantidad e incorporación de senderos peatonales y espacios verdes...entre otros; y estrategias de adaptación y mecanismos resilientes que permitan establecer mejores condiciones actuales y futuras, adoptar medidas para proteger el recurso natural y así lograr que se potencien los bienes y servicios ambientales

En Colombia esfuerzos como la Ley 9 de 1989 da participación a la estructura verde en el espacio público, conceptualizándola como (Republica de Colombia, 1989):

Las áreas requeridas para circulación, recreación, seguridad y tranquilidad ciudadana, las franjas de retiro de las edificaciones sobre las vías, fuentes de agua, parques, plazas, zonas verdes y similares... áreas para la conservación y preservación del paisaje y los elementos naturales del entorno de la ciudad (...) y en general, todas las zonas existentes o debidamente proyectadas en las que el interés colectivo sea manifiesto y que constituyan zonas para el uso o el disfrute colectivo. (Artículo 5).

La Ley 388 de 1997 en el Artículo 2, se remite al uso de la propiedad privada y del espacio público y en este sentido a los elementos naturales estructurantes, enmarcando como uno de sus pilares la función social y ecológica de la propiedad y resalta el territorio como “un escenario físico y ambiental donde convergen procesos de desarrollo, constituyéndose esta unidad como un elemento integrador entre actividades y relaciones sociales, económicas y culturales” (Congreso de Colombia, 1997).

El (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Republica de Colombia, 2012) a través de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), expone una política para la gestión ambiental urbana, en la que se considera la ciudad como ecosistema, su relación con la región y con el sistema natural, hacia la resiliencia y la adaptación.

A nivel metropolitano, el Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos (Area Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006), focaliza sus esfuerzos en la planificación y gestión ambiental urbana, y define el espacio público verde desde la articulación y la relación entre el hombre y la naturaleza. Posteriormente y con el fin de apuntar a una región sostenible, competitiva, con equilibrio territorial y equidad social; se desarrolla Bio 2030 (Alcaldía de Medellín, 2011), el cual identifica como uno de los sistemas estructurantes, el sistema de ambiente, paisaje y espacio público, en el cual se asocia el componente natural a los espacios públicos urbanos, valorizando la estructura ecológica como un elemento estructurante de la planificación.

Los parques, los cuales también incluyen espacios verdes son considerados por sus funciones y valores ambientales en el Acuerdo 48 de 2014, referenciándolos como (Alcaldía de Medellín, 2014):

Parte del espacio público, aire libre destinado a la recreación, contemplación y contacto con la naturaleza, así como a la recreación pasiva y activa; donde predominan valores paisajísticos, naturales y la presencia de vegetación, que en su conjunto prestan servicios ambientales fundamentales para la ciudad. (Artículo 69).

Finalmente el más reciente esfuerzo en materia realizado por el municipio de Envigado, se logra a través de la formulación del Plan Maestro de Zonas Verdes Públicas Urbanas de Envigado (Alcaldía de Envigado, 2015), en el cual se incluye la actualización de las zonas verdes públicas disponibles a partir de un censo completo de las áreas urbanas, generando un diagnóstico y una recomendación de manejo; y se concluye que el municipio cuenta con 890.653,02 m² de zonas verdes urbanas públicas dentro del área urbana; lo cual configura una importante línea a base para direccionar acciones en pro de la protección, mejora y/o cuidado de estas áreas.

Impulsar este tipo de acciones encaminadas a considerar la normativa territorial y promover el uso sostenible de los recursos naturales, contribuye a planificar ciudades más amigables con el medio ambiente y a mitigar los posibles impactos que se producen sobre el paisaje. En este sentido, conceptos como fragmentación, modelamiento de la conectividad ecológica y ecología del paisaje, se han convertido en parte de la priorización de lineamientos que propenden por la conservación y la mitigación de los diferentes impactos que se producen sobre el paisaje, recibiendo gran atención como herramienta de planeación de los entornos urbanos, y de la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas que quedan inmersos dentro de las ciudades (Lee & Oh, 2012).

1.3 Ecología del paisaje en el marco de la planificación urbana.

La ecología del paisaje se define como “el estudio de toda la complejidad de relaciones causa-efecto que existen entre las comunidades de seres vivos y sus condiciones ambientales en una sección específica de paisaje (Troll, 1939)” (Vilá S., Varga L., Llausàs P., & Ribas P., 2006, p.153). Autores como (Forman & Gordon, 1986) definen la ecología

del paisaje como un área heterogénea, compuesta por un grupo de ecosistemas que interactúan en el espacio. (Margalef, 1998). Al hablar de ecología del paisaje se hace referencia a la biología de los ecosistemas, pues esta se encarga del estudio de los seres vivos, el ambiente, la distribución, la abundancia y los efectos de las interacciones entre los organismos sobre el medio en el que se encuentran. En general, los dos conceptos ecología y paisaje están relacionados con el entorno, enfocándose en escalas donde las actividades humanas tienen influencia en los patrones espaciales y en esta medida, proporciona nociones sobre la trayectoria humana en los hábitats terrestres.

Este concepto ha sido ampliamente usado en los últimos años como herramienta para contrarrestar los posibles efectos de las acciones asociadas a la fragmentación del paisaje, lograr mantener la conectividad y el funcionamiento de este, para “posibilitar acciones y que las especies se muevan y se desarrollen en metapoblaciones (Fahrig, 2003)” (McHugh & Thompson, 2011, p. 236). La perspectiva del paisaje ha facilitado la evolución transdisciplinar en proyectos de ecología urbana; donde desde las diferentes perspectivas se han propuesto conceptos espaciales para analizar la estructura verde urbana y la perspectiva humana, logrando diferentes aproximaciones que van desde el diseño de redes de espacios protegidos hasta sistemas integrales de planificación y gestión del territorio (Niamela, 2014).

1.3.1 Fragmentación del verde urbano

En palabras de (Rotem-Mindali, 2012, p. 294), la fragmentación se define como “un proceso en el que una extensión de hábitat se transforma en una serie de parches, con un área más pequeña y aislados entre sí por una matriz de hábitats diferente del original”. Para August, Iverson, & Nugranad, (s.f.), la fragmentación del paisaje puede verse como una secuencia de elementos diferentes en donde la composición y las comunidades se ven afectadas debido a la reducción de su hábitat a pequeños parches aislados e inmersos en usos altamente perturbados del suelo.

En general, la fragmentación es un proceso dinámico que puede describirse a partir del uso de índices y métricas del paisaje. Este proceso de fragmentación o degradación del hábitat, comprende varias etapas relacionadas con el grado de intervención, donde la

etapa de la fragmentación presenta entre el 40 – 60% del hábitat alterado, evidenciándose problemas derivados de la disminución de superficie de hábitat (de Andalucía, 2011). Ver Figura 1-1.



Figura 1-1. Grados de alteración del paisaje. Fuente. Modificado a partir de (de Andalucía, 2011)

Este proceso de fragmentación ha sido atribuido a que “en los últimos cincuenta años, la intensificación agrícola, la urbanización, las redes de transporte... entre otros; se han desarrollado sin precedentes sobre los hábitats y paisajes naturales (Stanners & Bourdeau 1995)” (Vimal, Mathevet, & Thompson, 2012, p. 50).

En la ciudad, la fragmentación se presenta como resultado de procesos de ocupación y transformación de la tierra, a través del cual los espacios verdes urbanos son remanentes de estos procesos, quedando dispersos y aislados. (Area Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA], 2015). La fragmentación urbana también suele ser asociada con obstáculos físicos a los encuentros sociales en el espacio público; en este sentido, “la idea de la fragmentación urbana se deriva del concepto de fragmentación del hábitat, donde el hábitat se concibe como la gama de entornos o comunidades sobre los que se produce una especie (Whittaker, Levin, & Root, 1973)” (Rotem-Mindali, 2012, p. 294); o en palabras de Di Giulio, Holderegger, & Tobias (2009):

La fragmentación del paisaje exhibe una dimensión social a través de cómo las poblaciones humanas perciben la fragmentación y de cómo esto influye en el bienestar humano, p.e, al ver reducida la accesibilidad a zonas verdes (...) para (Kahn, 2002), las personas perciben el entorno natural como lo refieren desde su infancia; en esta medida, cada generación subsiguiente toma esa condición degradada como la condición no degradada o normal. (p. 2960).

Algunos de los efectos de la fragmentación son la disminución de superficie de hábitat, la reducción del tamaño y aislamiento de elementos del paisaje, y la debilitación de procesos como dispersión de semillas, polinización de plantas, relaciones predador-presa, movimiento de las especies... entre otros (Di Giulio et al., 2009). A nivel urbano los efectos de la fragmentación trascienden los ecológicos y se encuentran también asociados al “atropellamiento de fauna por parte de vehículos, a la electrocución con cables aéreos de alta tensión” (AMVA, 2015, p. 70), y a la funcionalidad social del verde urbano; en la medida en que “un menor tamaño de los espacios y su desconexión física, dificulta la configuración de un sistema integrado de espacios verdes públicos para los ciudadanos” (AMVA, 2015, p. 72).

1.3.2 Conectividad ecológica

El término de conectividad en la ecología del paisaje surge como posibilidad de integración de los diferentes elementos naturales del paisaje que se encuentran desconectados. Para McGarigal & Marks (1995) este término hace referencia al grado en el que el paisaje facilita o impide flujos ecológicos o como señala Forman R. T (1995), la resistencia del paisaje a dichos flujos; donde el paisaje es considerado como una superficie heterogénea conformada por un mosaico de unidades homogéneas.

Los ejercicios de conectividad entre parches cobran importancia con el fin de ayudar a contrarrestar los efectos de la fragmentación del hábitat, generándose resultados favorables tanto para la diversidad como para la sociedad, y permitiendo que los servicios y funciones hacia la ciudad se conserven o incrementen (Rich, Dobkin, & Niles, 1994). Enfrentar el desafío de “Integrar la conectividad al contexto urbano, implica el reconocimiento de funciones tanto ecológicas como sociales y territoriales que cumplen las áreas verdes y espacios abiertos no construidos, los cuales poseen un alto potencial para la integración del tejido urbano y la conservación de la biodiversidad” (AMVA, 2015, p. 82). Las áreas al ser conectadas a través de la unión de los fragmentos que componen el paisaje; logran ser efectivas, lo que finalmente se traduce en un incremento de las tasas de “intercambio de individuos entre poblaciones y su persistencia local - regional, el aumento de la estabilidad, de la capacidad de recuperación frente a perturbaciones y de

la posibilidad de recolonización tras posibles extinciones locales (Crooks y Sanjayan, 2006)” (Martínez de Toda, González, & Rosselló, 2011, p. 16).

Para lograr este propósito, se requiere hacer un análisis de la configuración actual y las tendencias del paisaje a partir de tres elementos: estructura, función y variación. La estructura hace referencia al grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches (tamaño, forma, número, tipo y dirección). La función involucra el proceso de conexión de poblaciones de un paisaje, el movimiento de individuos y sus genes; y la variación hace referencia a la función de la biodiversidad y los diferentes ecosistemas que conforman el paisaje (Lee & Oh, 2012).

Con el fin de determinar el grado de conectividad se hace necesaria “la implementación de métricas o índices del paisaje, las cuales han sido ampliamente utilizadas por autores como: Forman & Godron (1986), O’Neill et al. (1988), Hulshoff (1995), McGarigal y Marks (1995), Griffith et al. (2000), Chen, Xiao & Li (2002), Cao (2004), Clerici et al. (2007), Lechner et al. (2013) y Uemaa, Mander & Marja (2013)” (Vila S., Varga L., Llausàs P., & Ribas P., 2006). Demostrando que el uso de métricas es una buena opción para obtener las características estructurales del paisaje y determinar en qué grado de conexión se presentan sus elementos. Acerca del uso de métricas Li-yun (2017) afirma:

Las métricas miden la conexión orgánica entre la estructura, la función o los procesos ecológicos entre todas las clases de parches del paisaje (Tischendorf 2000, Wu et al., 2008), evalúan la conectividad ecológica y protegen la vida silvestre (Yang et al., 2013, Thomas Et al. 2014), estudian el flujo genético (Neel 2008), evalúan los paisajes urbanos (Marulli y Mallarach 2005; Wu et al. 2008), construyen redes ecológicas (Wang 2009, Pino y Marull 2012, Looy et al., 2014) y desarrollan proyectos de ecologización urbana (Xiong Et al. 2008). (p. 337).

Las métricas pueden ser aplicables a tres niveles Mcgarigal & Marks (1995) y Botequilha et al., (2002):

Fragmento. Áreas geográficas no lineales que difieren en apariencia de su alrededor y que guardan condiciones ambientales relativamente homogéneas; varían en tamaño, forma, origen, conectividad y bordes; y es una característica importante en la determinación del flujo de energía, organismos y factores abióticos a través del paisaje.

Clase. Los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos del mismo tipo.

Paisaje. Los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez. Indica el grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto.

A partir de la implementación de las métricas se obtiene las características de los elementos dentro del paisaje, lo cual es de suma importancia para determinar las acciones que se deben implementar en el caso de requerirse una mejora en la conectividad. En la Figura 1-2, se muestran las diferentes acciones que pueden considerarse para mantener o impulsar la conectividad en el paisaje; esto se logra a partir del uso de herramientas para el análisis y el modelamiento de la conectividad ecológica, la planeación de los entornos urbanos, la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas que quedan inmersos en el entorno urbano, y el uso de los sistemas de información geográfica; permitiendo establecer una armonía que concilia con la planeación en los espacios públicos urbanos (Lee & Oh, 2012).

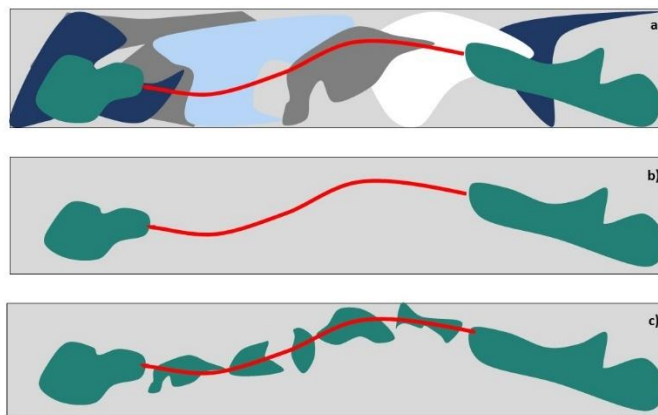


Figura 1-2. La permeabilidad del paisaje puede favorecerse (a) manteniendo la totalidad del mosaico entre dos áreas fuentes o (b, c) manteniendo ciertos elementos del paisaje que permiten la dispersión de ciertas especies. Estos elementos dispersivos pueden ser continuos (b) o discontinuos (c). Fuente. Modificado a partir de (de Andalucía, 2011).

De esta manera se logra obtener una perspectiva parametrizada de la composición y distribución de los elementos del paisaje; lo cual es clave para lograr mantener la conexión

entre fragmentos (permeabilidad del paisaje), ya sea utilizando elementos lineales como corredores biológicos, cercas vivas o cualquier tipo de fragmentos.

1.3.3 Corredores ecológicos

Los corredores ecológicos son parches alargados que conectan parches entre sí. En la ciudad, “el corredor ecológico es un paisaje lineal, que tiene la función de hábitat, espacio verde abierto o aislamiento del hábitat humano, y tiene la característica de heterogeneidad cuando se compara al paisaje circundante” (Peng, Zhao, & Liu, 2017, p. 23). Se referencian tres tipos: lineales y franjas los cuales difieren en la amplitud, básicamente las franjas son más anchas; y los corredores riparios, que se encuentran bordeando un curso de agua (Rojas, 2000).

En particular, los corredores riparios, cuentan con el agua como eje estructurante natural y fundamental para la conexión y atraer la biodiversidad de la zona rural hacia el interior de las ciudades. En este sentido, el río que pasa por la ciudad tiene una estructura natural que hace parte del sistema urbano, y, por lo tanto, también es competencia del ordenamiento territorial apoyado en los procesos de los sistemas naturales y humanos; pues su gestión se deriva de un ciclo hidrológico que se está modificando y que vincula interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicos. (Corporación Autónoma Regional de Nariño [Corponariño] & World Wildlife Fund [WWF]- Colombia, 2016).

En Colombia, el Estudio Nacional del Agua de 2014 exalta la importancia del agua como principal elemento integrador en la preparación de un territorio frente al cambio climático, y direcciona esfuerzos y políticas de adaptación para poder alcanzar objetivos de sostenibilidad hacia ciudades más conectadas con su realidad territorial, como parte de una solución para los habitantes de la ciudad. (Ministerio de Medio Ambiente, 2015). Parte de esta estrategia es la protección de esas fuentes hídricas y la estructura verde asociada como elemento de amortiguación y protección de este recurso. En este sentido la gestión de espacios verdes cobra mayor importancia para la conservación y recuperación de lugares para la biodiversidad y para provisión de servicios ecosistémicos; donde los corredores se plantean para reconstruir procesos ecológicos en paisajes fragmentados como lo son las ciudades; y posibilitando el intercambio, sumidero y dispersión de especies

de fauna desde estas zonas ribereñas hasta los espacios de la zona desarrollada o ciudad, facilitando la conectividad y satisfaciendo las necesidades de los residentes urbanos en cuanto a requerimientos de recreación y paisaje (Peng, Zhao, & Liu, 2017).

El establecimiento de corredores no solo responde a requerimientos ecológicos, “también a propósitos de organización del paisaje (Martínez, 1999), orientando procesos de ocupación del suelo para el control de la expansión urbana y la conformación del espacio público verde” (AMVA, 2015, p. 75); constituye una estrategia territorial que hace parte de la organización metropolitana, y conforma una nueva manera de entender la ciudad; pues son parte de la infraestructura ecológica urbana y al ser un sistema en red de tierras y aguas naturales, proporciona servicios ecosistémicos a los ciudadanos (Borja, 2010). “El diseño de corredores ecológicos basado en aspectos tanto sociales, económicos y ecológicos, se logra a partir de conexiones entre "parches" y "matrices" a través de "corredores", que representan los principales elementos espaciales de la estructura del paisaje (Forman & Godron, 1986)” (Lee et al., 2014, p. 7566); generándose de esta manera el buen funcionamiento de los ecosistemas y los hábitats, su conectividad, conservación y restauración (Lee, Chon, & Ahn, 2014). En general esta situación puede ser cuantificada a partir de dos métodos no excluyentes según (LaPoint et al., 2015):

La evaluación del movimiento de los individuos a través del paisaje utilizando técnicas de seguimiento (Tischendorf & Fahrig 2000b; Calabrese & Fagan 2004; Taylor, Fahrig & With 2006); y el uso de técnicas de modelación de la conectividad funcional a través de estimaciones de "resistencia" del individuo para moverse en el paisaje, como el análisis de la ruta de menor costo (Adriaensen et al. 2013), la teoría de circuitos (McRae et al. 2008), entre otros. (p.879)

Estos modelos y herramientas funcionan a partir de uno o varios datos los cuales son incorporados a software específicos. Varios de estos pueden ser obtenidos de forma gratuita o con código abierto con el fin de poder integrar la información, realizar análisis y diseño de las redes (Martinez, Múgica de la Guerra, & Castell Puig, 2013). De esta manera se logra generar conectividad con responsabilidad, para lograr ordenar procesos de ocupación y de expansión urbana, a la vez que se permite el flujo de materia y energía disminuyendo la fricción para la fauna asociada y se crean espacios para el disfrute de las personas.

2. Metodología

A continuación, se describe la metodología implementada para obtener un corredor de conectividad óptimo para la zona de estudio. Esta metodología se implementó considerando aspectos como localización dentro de la microcuenca y objetivo de conectividad.

2.1 Área de estudio

El municipio de Envigado hace parte de la subregión metropolitana del Valle de Aburrá, se encuentra al sudoeste de la ciudad de Medellín en el departamento de Antioquia, Colombia Ver Figura 2-1. Este municipio cuenta con una altitud sobre el nivel del mar de 1575m, una temperatura promedio de 22°C en la cabecera municipal y 18°C en la parte alta rural (Alcaldía de Envigado, 2016). Según (Alcaldía de Envigado, 2017) el municipio presenta:

Una zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Premontano (bh-PM) y una vocación de uso del suelo destinada a la construcción (Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial et al. 2007). En un contexto biogeográfico, la región se ubica en la provincia Norandina, Distrito Bosques Subandinos Quindío - Antioquia de la Cordillera Central. Este distrito presenta importancia en cuanto a la diversidad de especies de palmas y la presencia de elementos faunísticos altoandinos (Hernández-Camacho et al. 1992) que han sufrido afectación en los patrones de distribución, producto del desarrollo urbanístico que se ha dado en la región. La zona se encuentra clasificada como “Tejido Urbano Continuo” (IDEAM 2010), con cobertura compuesta por edificaciones que ocupan más del 80% de la superficie y la presencia de algunas zonas verdes inmersas en la matriz urbana. (p.7).

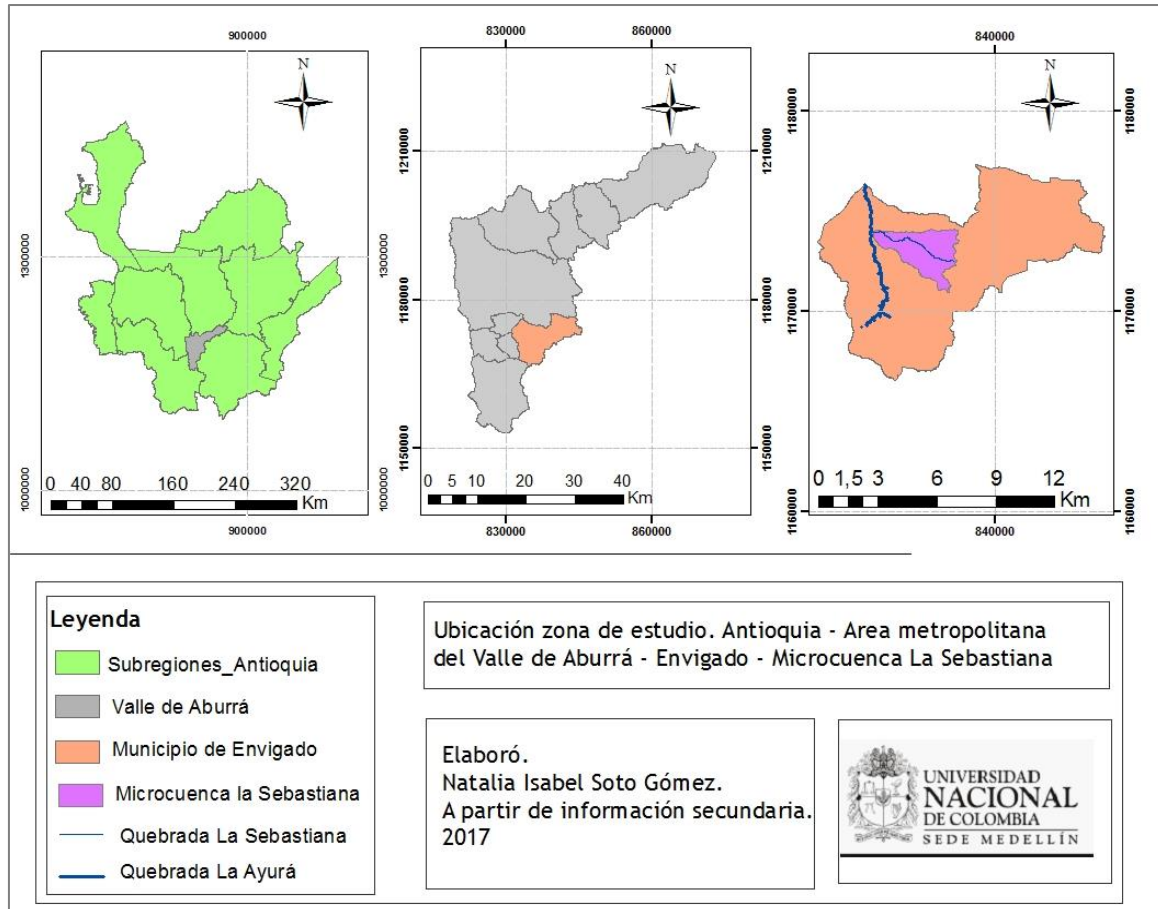


Figura 2-1. Localización de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2016); (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006).

2.1.1 La microcuenca La Sebastiana.

La microcuenca hidrográfica La Sebastiana, se encuentra localizada en sentido oriente occidente en el municipio de Envigado, limitando con la microcuenca La Zúñiga, ambas tributantes a la subcuenca de la quebrada La Ayurá, la que a su vez es una de las principales tributantes al río Medellín; el cual juega un papel fundamental como eje estructurante del territorio a lo largo del área metropolitana del Valle de Aburrá. Esta microcuenca es de orden cuatro (4) y se encuentra influenciada por dinámicas territoriales tanto urbanas como rurales (Alcaldía de Envigado, 2006). En la parte alta de esta microcuenca se encuentran localizados los parques Chorro Frío y Manantial, y parte del Parque Central de Antioquia denominado Parque Arví (186, 62 m²). Ver Figura 2-2.

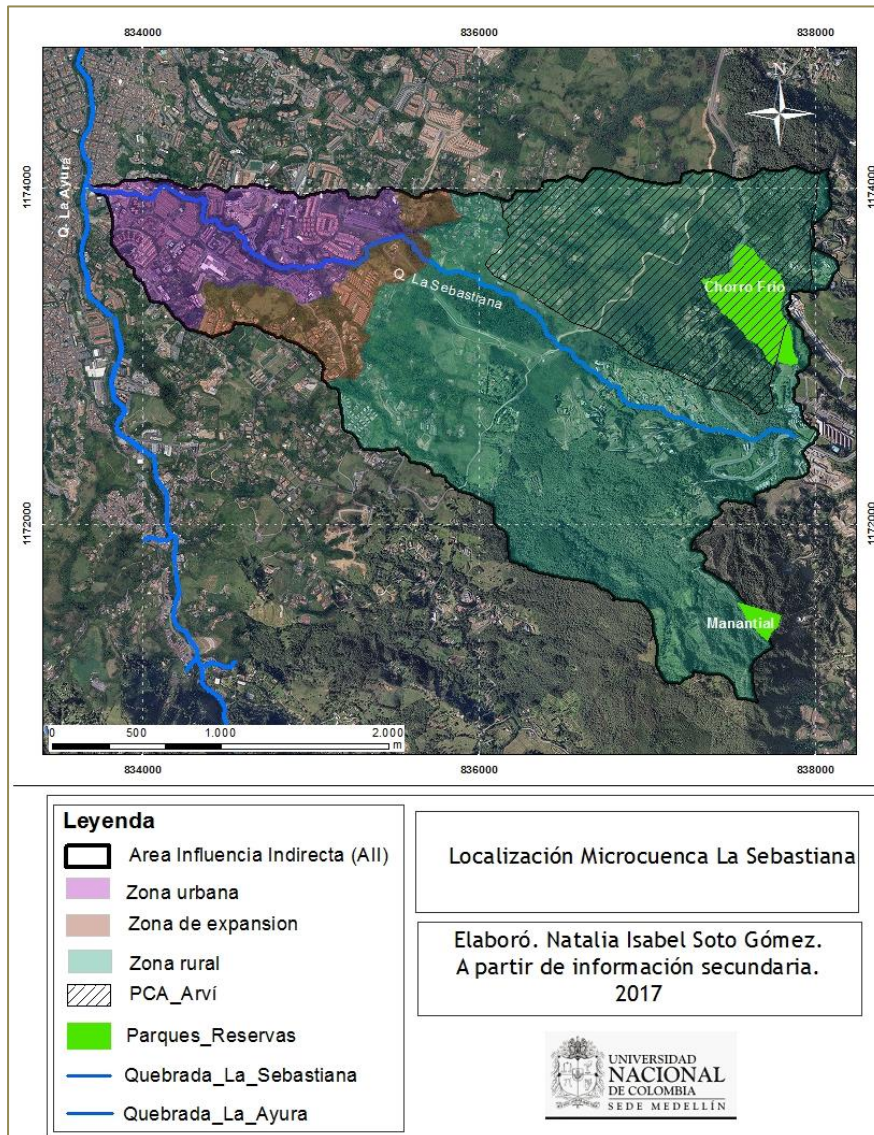


Figura 2-2. Localización zona de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006).

La microcuenca La Sebastiana, cuenta con un área total de 711,22 ha, un perímetro de 15,63 Km y longitud de 5,43 Km; presenta zonas tanto urbanas (14 barrios), como rurales (veredas El Escobero, Santa Catalina y Las Palmas). En la Tabla 2-1 se muestra la configuración político administrativa al interior de esta microcuenca.

Tabla 2-1. Relación área, barrios y veredas pertenecientes a la microcuenca La Sebastiana

Microcuenca	Tipo suelo	Barrio/Vereda	Área (Ha)
La Sebastiana (711,23Ha)	Urbano (100,55 Ha)	La Inmaculada	20,03
		La Sebastiana	0,76
		Los Naranjos	0,00
		Loma de Las Brujas	2,04
		La Pradera	45,66
		El Chocho	31,58
		Loma del Atravesado	0,48
	Rural (610,68 Ha)	Vda. El Escobero	217,11
		Vereda Santa. Catalina	306,49
		Vereda las Palmas	87,08
	Total área		

Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006).

- Quebrada La Sebastiana.

La quebrada La Sebastiana es el eje estructurante de la microcuenca del mismo nombre, nace en la cota 2.510 y desemboca en la quebrada La Ayurá en la cota 1.570 msnm cerca al Hospital de Envigado.

El nacimiento se encuentra en una zona bastante rocosa, de alta fracturación y de pendientes fuertes. La cuenca alta (2.510 a 2.180 msnm) ha sido muy intervenida y el cauce va sobre un basamento rocoso con pendientes fuertes, sobre terreno plano, pero bastante quebrado y escalonado, presentando algunas cascadas. Posee un buen caudal y presenta múltiples bocatomas, pero su caudal disminuye considerablemente en la cuenca media y baja. En la cuenca media (2.180 a 1.700 msnm), la pendiente del terreno es bastante fuerte, se observan movimientos en masa como deslizamientos y reptación en sus vertientes, favorecidos por la deforestación. La cuenca baja (1.700 a 1.570 msnm), aporta gran cantidad de sedimentos y rocas a la quebrada La Ayurá. El cauce transporta materiales de tamaño medio, pero se han presentado avalanchas que han transportado bloques de 1 y 1,50 m de diámetro. En general sus retiros han sido intervenidos por obras de infraestructura pública y privada, actualmente se encuentran urbanizados y encerrados con el paisajismo de cada parcelación o construcción (Alcaldía de Envigado, 2006).

La recuperación de las quebradas es un tema importante para el municipio de Envigado, es por esto que el Artículo 39 del capítulo II del POT del municipio del Envigado (Alcaldía

de Envigado, 2011); destaca la microcuenca La Sebastiana como área de especial interés ambiental y paisajístico, y la denomina corredor biológico asociado a la red hídrica municipal.

- Tipología de zonas verdes de la microcuenca La Sebastiana.

Con respecto a la tipología de Zonas Verdes presentes en la microcuenca La Sebastiana, la mayor cantidad de parches (198), se encuentra clasificados como zonas verdes asociadas a vías, abarcando un área de (0,80 ha). La tipología con la mayor representatividad en cuanto a área es *Vegetación Secundaria Alta* con (115,99 ha) y la representación más baja en cuanto a área está representada por zonas verdes asociadas a *Vías peatonales*. Las zonas verdes asociadas a *Retiros de quebradas* solo representan el 6,2% del total de los 541 parches presentes. En la Tabla 2-2 se muestra el número de polígonos y área total por tipología. En la Figura 2-3 se muestra el porcentaje que representa cada tipología de zona verde dentro de la microcuenca La Sebastiana.

Tabla 2-2. Relación Tipología zona verde- No. de parches – Área de la microcuenca La Sebastiana.

Información obtenida de:	Tipología zona verde	No. Parches	Área total (Ha)
Coberturas	Bosque denso	5	89,31
Coberturas	Bosque fragmentado	10	32,4
Coberturas	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5	16,6
Coberturas	Mosaico de pastos con espacios naturales	9	35,32
Zonas verdes	Parques lineales	3	0,03
Coberturas	Pastos arbolados	9	7,34
Coberturas	Pastos enmalezados	5	4,2
Coberturas	Pastos limpios	29	60,68
Coberturas	Plantación de coníferas	10	39,07
Coberturas	Plantación de latifoliadas	1	1,33
Zonas verdes	Retiros de quebrada	34	6,46
Zonas verdes	Separadores	21	0,48
Coberturas	Vegetación secundaria alta	29	115,99
Coberturas	Vegetación secundaria baja	21	98,88
Zonas verdes	Vías	198	0,8
Zonas verdes	Vías peatonales	1	0,004
Zonas verdes	Zonas verdes	127	2
Zonas verdes	Zonas verdes privadas	24	12,2
Total general		541	523,11

Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006).

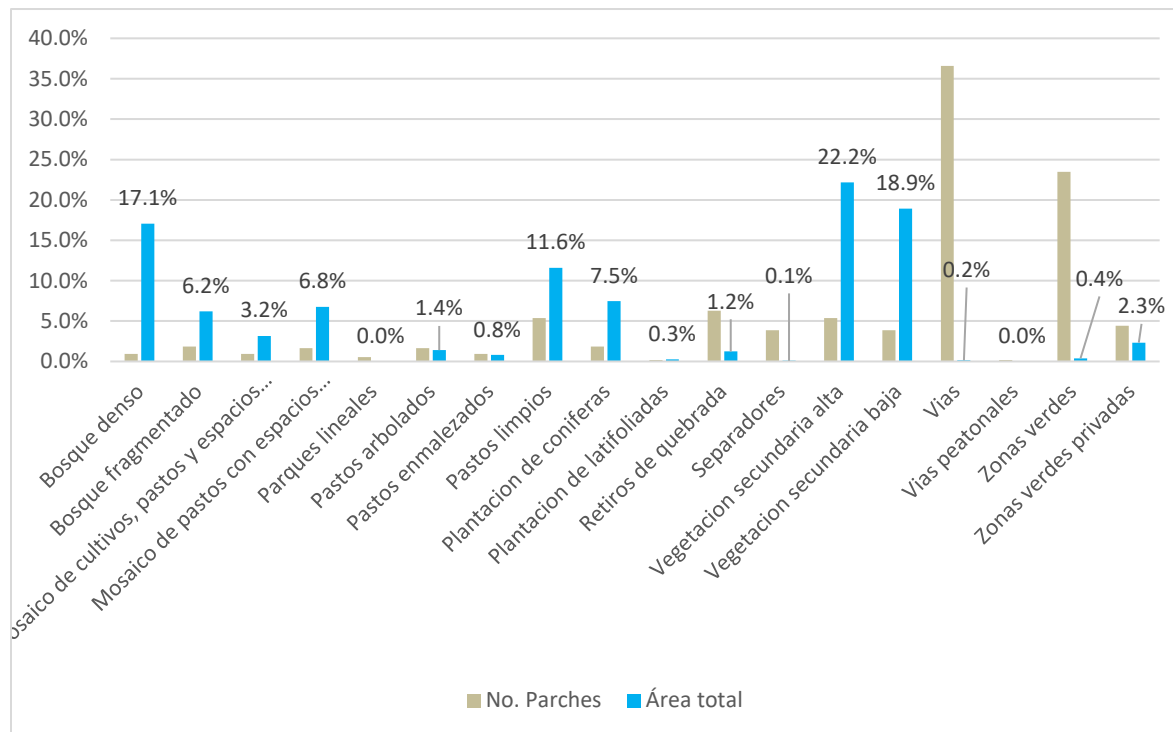


Figura 2-3. Tipología de zonas verdes y su porcentaje de representación dentro de la microcuenca La Sebastiana.

2.1.2 Área de análisis.

El área de estudio se contempla parte urbana de la microcuenca La Sebastiana; el área del eje de la quebrada La Sebastiana entre la Diagonal 31 (vía paralela a la Quebrada La Ayurá) y la Carrera 27 (Transversal Intermedia). Ver Figura 2-4. Este tramo contiene 1,73 km del total del eje hídrico (5,44 km) y un área de 66,44 ha; donde el barrio La Pradera comprende 456.581m², el barrio La Inmaculada 200.265 m², y el barrio La Sebastiana 7.601m²; éste último solo representa un 1,14%. El barrio La Pradera cuenta con la mayor representatividad (68,72%). En la Tabla 2-3 se puede apreciar el área total considerado para este análisis.

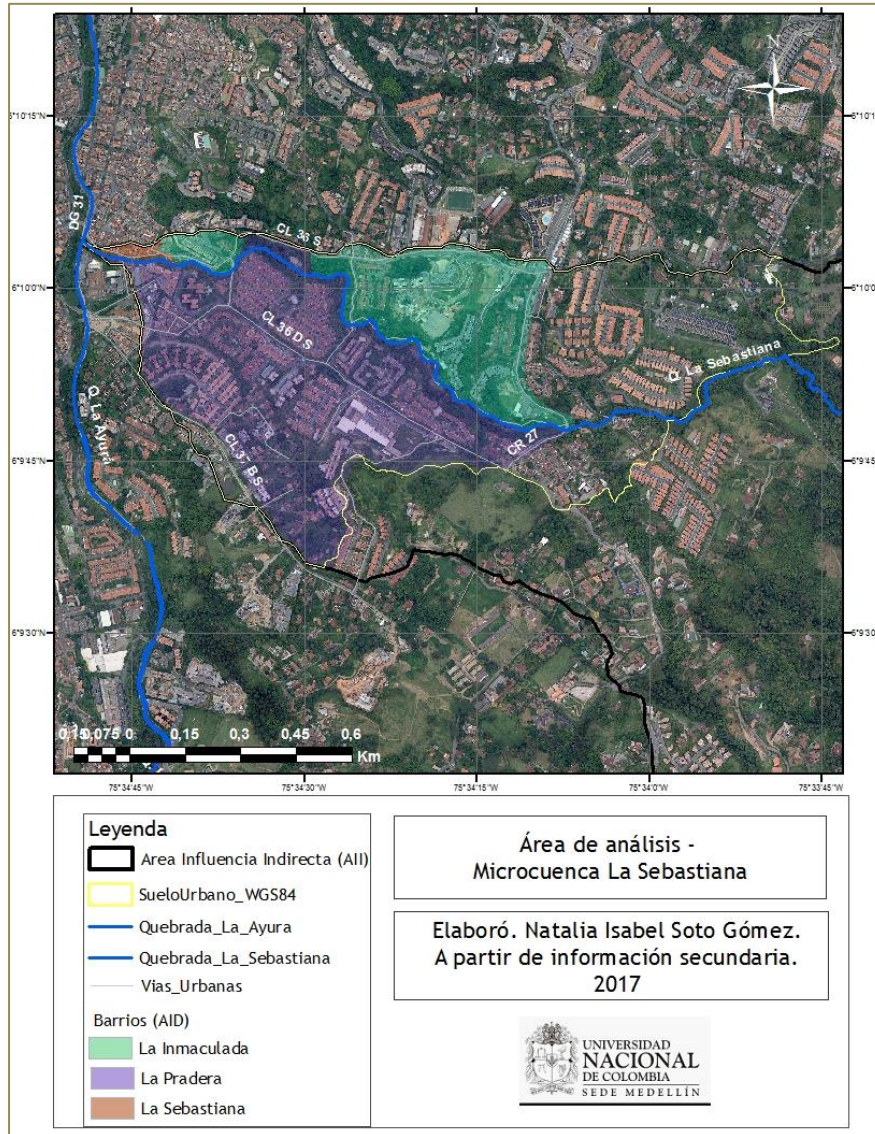


Figura 2-4. Localización área de análisis. Fuente. Elaboración propia a partir de información secundaria (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006)

Tabla 2-3. Caracterización morfométrica del área de análisis.

Barrio	Área total (ha)	Perímetro (Km)
La Inmaculada	20,026566	3,2508
La Sebastiana	0,760121	0,6398
La Pradera	45,658179	4,03672

Fuente. Elaboración propia a partir de información cartográfica obtenida de (Alcaldía de Envigado, 2011).

- Diagnóstico.

Los retiros de la quebrada La Sebastiana dentro del área de estudio, en general se encuentran sin presencia de basuras o desperdicios y casi en su totalidad se canalizado; sin embargo, solo en la parte baja en el área comprendida dentro del barrio La Sebastiana, se evidencian acciones de paisajismo y mobiliario para la apropiación y disfrute de las personas.

En general el área de análisis comprende un total de 334 polígonos, donde el barrio La Sebastiana cuenta con la menor cantidad de estos (16), y solo tres hacen parte de la tipología *Parques lineales*. El barrio La Pradera cuenta con la mayor cantidad de polígonos (239) y también tiene la mayor cantidad que corresponden a una misma tipología (109 en *Zonas verdes públicas*), pero en un área muy pequeña (0,6937 ha); sin embargo, en la mayor cantidad de área (2,8989 ha), están focalizados 16 polígonos de la tipología *Retiro de quebrada*. El barrio La Inmaculada no presenta ningún polígono verde asociado a *Vías peatonales*, sin embargo, evidencia que es significativamente menos intervenido que el barrio La Pradera, pues en la Tabla 2-4 se observa una relación de 79 polígonos en (5,1018 ha) versus 239 objetos en (6,6258 ha).

El espacio verde dentro del área de estudio comprende 334 polígonos, su mayoría localizados en el sector norte de la microcuenca con respecto al eje de la quebrada La Sebastiana; se evidencia una gran ausencia de este tipo de polígonos en el sector sur donde se localiza el barrio La Pradera, situación posiblemente generada por la presencia de proyectos inmobiliarios de gran envergadura y las vías para su acceso, generando fragmentación de las pocas zonas verdes que quedan inmersas y limitando la accesibilidad y disfrute de este tipo de espacio por las personas. Así mismo, 50 de estos polígonos hacen parte de predios públicos; donde 20 se encuentran categorizados dentro de la tipología de *Retiro de quebrada*.

Según (Alcaldía de Envigado, 2015), en el área de análisis se encuentra un total de 1954 individuos arbóreos distribuidos en 164 especies, presentándose gran variedad en la oferta en cuanto a funcionalidad para poblaciones tanto de fauna como de personas asociadas a esta área: frutos, semillas, percha, sombra... entre otras. El barrio La Sebastiana cuenta con 105 individuos en los que predomina *Citrus sp* y *Persea americana*, cada uno con 13

individuos; el barrio La Inmaculada tiene 803 individuos en los que predomina *Eucalyptus sp* con 55 y *Miconia caudata* con 84; y el barrio La Pradera cuenta con 911 individuos en los que predomina *Leucaena leucocephala* con 46, *Pithecellobium dulce* con 66 y *Bauhinia picta* con 79. En la Figura 2-5 se muestran las imágenes del eje estructurante de la microcuenca La Sebastiana en diferentes puntos.



Figura 2-5. Zona de estudio: a. Parte alta: Cr 27# 36 Sur199. b. Parte media-alta: Cr 27D # 36 Sur82. c. Parte media: Cr 27g conTrv36 Sur. d. Parte medio-bajo: Trv 36 Sur # 28-22. e. Parte baja-esembocadura: Trv 36Sur con Dg 32. Fuente. Registro fotográfico personal.

Tabla 2-4. Relación tipología zona verde- No. de parches – Área por barrio pertenecientes al área de estudio.

Tipología zona verde	Barrio						Total parches por tipo	Total área por tipo
	La Sebastiana		La Inmaculada		La Pradera			
	No. Parches	Área total (ha)	No. Parches	Área total (ha)	No. Parches	Área total (ha)		
Parques lineales	3	0,0262	0	0	0	0	3	0,0262
Retiros de quebrada	4	0,0024	8	1,3958	16	2,8989	28	4,2971
Separadores	0	0	9	0,3318	10	0,1012	19	0,4330
Vías	9	0,0171	39	0,2579	91	0,3323	139	0,6073
Vías peatonales	0	0	0	0	1	0,0023	1	0,0023
Zonas verdes publicas	0	0	16	1,2021	109	0,6937	125	1,8958
Zonas verdes laterales pertenecientes a las vías	0	0	1	0,0278	0	0	1	0,0278
Zonas verdes privadas	0	0	6	1,8864	12	2,5973	18	4,4837
TOTAL GENERAL	16	0,0456	79	5,1018	239	6,6258	334	11,7732

Fuente. Elaboración propia a partir de (Alcaldía de Envigado, 2011); (Alcaldía de Envigado, 2006) y (Alcaldía de Envigado, 2015).

Con respecto a estos barrios, la (Alcaldía de Envigado, 2011) en sus Artículos 230 y 232 establece los tipos de tratamientos que deben implementarse con el fin de orientar el desarrollo del conjunto del suelo urbano y del suelo de expansión urbana; y destaca para estos tres barrios el establecimiento del tratamiento de Consolidación Nivel 3 (CN3) – Generación (código del polígono: CON3-18, CON3- 35: Uribe Ángel – La Sebastiana, La Inmaculada y La Pradera); el cual se aplica a sectores que tienen un déficit crítico de infraestructura, equipamientos y espacio público de acuerdo a los índices definidos por la norma urbanísticas. Así mismo, este mismo documento evidencia que estos tres barrios presentan algunas características asociada a riesgo. Ver Tabla 2-5.

Tabla 2-5. Riesgo asociado a los barrios La Inmaculada, La Pradera y La Sebastiana.

Barrio	Tipo de Riesgo	
	Movimiento en masas	Inundación
La Inmaculada	Zona con bajo riesgo Área relativamente estable con muy pocos fenómenos naturales ya que presentan condiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas favorables	No presenta
La Pradera	Zona con bajo riesgo Área relativamente estable con muy pocos fenómenos naturales ya que presentan condiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas favorables	No presenta
La Sebastiana	Zona con bajo riesgo Área relativamente estable con muy pocos fenómenos naturales ya que presentan condiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas favorables	Media y Alta. El estudio hidrológico e hidráulico de la quebrada la Sebastiana, se determina que esta quebrada es la que transporta los bloques de roca más grandes y se detectaron 15 puntos críticos, uno de los cuales se presenta en la desembocadura de la quebrada La Ayurá en cercanías al Hospital Manuel Uribe Ángel, donde ha presentado episodios de inundación lenta y desbordamiento. Presenta inundación rápida y avenidas torrenciales desde el sector la inmaculada hacia la parte alta.

Fuente. Elaboración propia a partir de (Alcaldía de Envigado, 2011).

Es importante destacar que, aunque en general la zona se encuentra en buen estado y con “buena estructura verde” que conecta desde la zona rural hacia el interior (zona urbana), es evidente una disminución de este tipo de estructura de forma perpendicular o transversal a la quebrada La Sebastiana, principalmente en inmediaciones del barrio La Pradera.

2.2 Métodos

Para la determinación del corredor, inicialmente se realiza una revisión detallada de la información básica existente facilitada por el Municipio de Envigado, se procede a realizar un análisis cuantitativo del conjunto de espacios verdes o parches, la fauna asociada y los requerimientos de proximidad de las personas a estos espacios o potenciales parques.

Posteriormente y considerando los objetivos de conectividad del presente trabajo, se definió la zona de estudio, la escala de trabajo y grupo focal de análisis. En la Figura 2-6 se muestra el proceso que se siguió para este análisis.

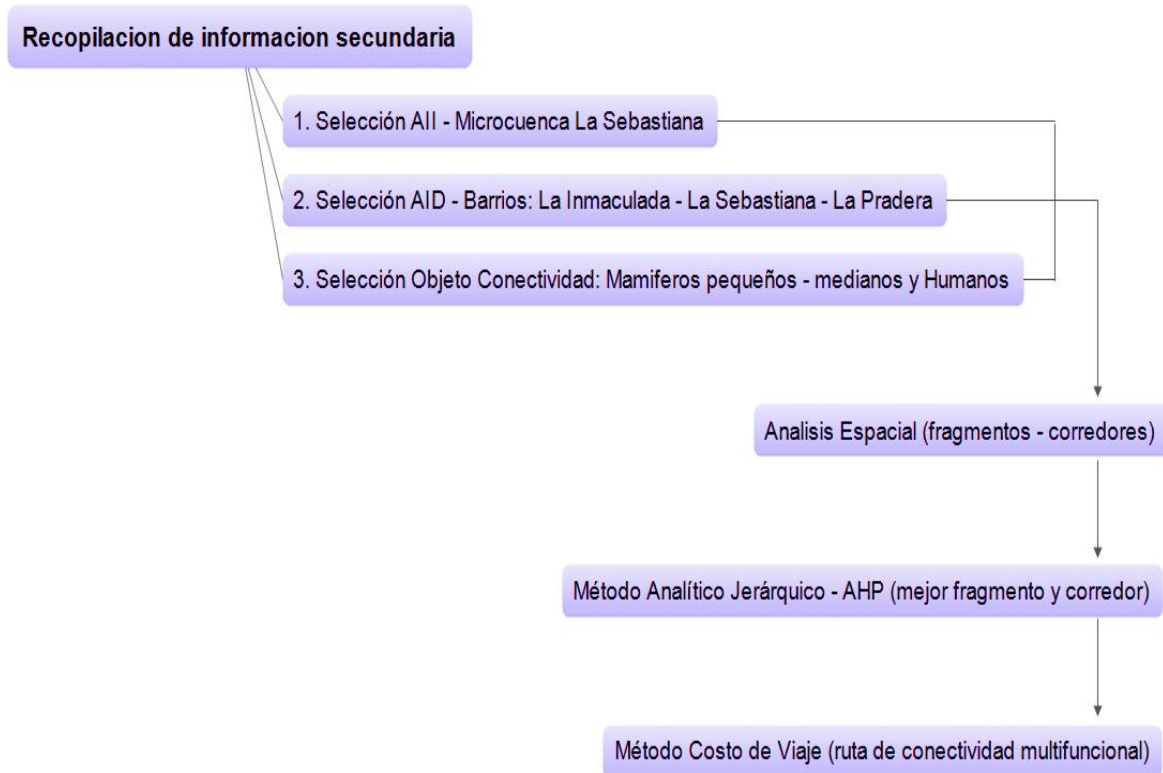


Figura 2-6. Diagrama metodológico. Fase preliminar. Fuente. Elaboración propia.

2.2.1 Grupos focales para la conectividad de los espacios verdes

El objetivo de conectividad del presente trabajo se orienta a proponer un corredor multifuncional para la funcionalidad tanto de personas que hacen uso del sector, como de mamíferos pequeños a medianos. Este último fue seleccionado en consideración a que “el municipio de Envigado podría ser considerado como área estratégica para la conservación de mamíferos no voladores a nivel nacional; pues en tan sólo 78 km² de territorio, se concentra cerca del 15% de la diversidad de mamíferos no voladores reportados para Colombia” (Alcaldía de Envigado, 2015, p. 63). Así mismo, el más reciente estudio de conectividad registrado en zona urbana de la microcuenca de análisis, evidenció la presencia de mamíferos medianos como como *Zarigüeya (Didelphis marsupialis)* y *Ardilla*

colorada (*Notosciurus granatensis*); los cuales son especies bastante generalistas que aunque usan ampliamente los bosques nativos y conservados, también son tolerantes a ambientes intervenidos y por lo tanto no presenta ningún inconveniente en coexistir con las personas (Alcaldía de Envigado, 2017).

Sin embargo, es importante destacar que debido a que el objetivo de este estudio se acota a proponer una red multifuncional en zona urbana, y con el fin de aprovechar las características del municipio como “resguardo” de mamíferos; se determina no focalizar una sola especie de fauna y por el contrario, trabajar para mejorar la conectividad de mamíferos pequeños a medianos, ya que algunos de estos en general, se encuentran asociados y familiarizados a la actividad urbana. Así mismo se determina considerar el grupo poblacional de los humanos por ser actores importantes en las dinámicas y la configuración de las tipologías verdes presentes en el territorio.

La elección de diferentes grupos poblacionales que ejercen diferentes dinámicas sobre el territorio, hace que los esfuerzos presentados en este trabajo sean direccionados a reforzar la conectividad de un corredor de manera que sea considerado para múltiples beneficios o funciones (multifuncional), según las demandas básicas de cada uno de los grupos poblacionales acá planteados.

2.2.2 Análisis espacial de las tipologías verdes

Se recurre al empleo de un SIG, en este caso Arcgis 10.3 (Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2012); el cual permite realizar el análisis espacial a partir de los diferentes elementos presentes en el área de estudio, logrando identificar los polígonos que configuran la red de espacios verdes. Para esto, se acude al uso de métricas propias del enfoque de la ecología del paisaje descrito por (Forman & Gordon, 1986) aplicadas al contexto urbano, a partir del uso del mapa de coberturas y zonas verdes del municipio de Envigado. Estas métricas se calcularon a nivel de paisaje y de parche, debido a que la escala así lo permite y a través de la herramienta *Patch analyst* (Rempel, Kaukinen, & Carr, 2012) de ArcView, la cual es de acceso libre y cuenta con los principales índices de paisaje. (Vila S. et al., 2006).

Debido a que existe cierto grado de correlación entre el grueso de las métricas disponibles por el programa, se seleccionan las que hacen una mejor representación del patrón espacial y que por lo tanto aportan mayor información sobre la estructura del paisaje. Las métricas se seleccionaron a partir de la consideración de la escala, el contexto (urbano) y la funcionalidad, traducida como beneficio social y ecológico. En la Tabla 2-6 se observan las métricas utilizadas para este análisis.

Tabla 2-6. Métricas a nivel de parche y paisaje.

Métrica	Descripción
Área de parche (AP).	<p>“Gran utilidad ecológica, pues la ocurrencia y abundancia de algunas especies está fuertemente correlacionadas con el tamaño del parche. Cuantifica la composición del paisaje, no la configuración del paisaje. (Robbins y otros 1989)”. (Mcgarigal & Marks, 1995, p. 23)</p> $\text{Área (ha)} = aij \frac{1}{10000}$ <p>Donde; aij: área en m² del parche ij.</p>
Índice de forma media (MSI).	<p>Mide la complejidad de la forma de un parche comparado con una forma estándar como un círculo o un cuadrado. El MSI es igual a 1 cuando todos los parches son circulares y aumenta al aumentar la irregularidad de la forma del parche. El índice de forma es útil, ya que permite cualificar los parches según la complejidad de su forma, entre más irregular sea es más naturalizado:</p> $\text{SHAPE} = Pij / (2\sqrt{\pi} * aij)$ <p>Donde; Pij = perímetro del fragmento ij en términos de número de celdas de superficie. aij: área del parche ij en m²</p> <p>(Mcgarigal & Marks, 1995, p. 83)</p>
Índice de forma media ponderada del área (AWMSI).	<p>Es igual a 1 cuando todos los parches son circulares (para polígonos) y aumenta con la creciente irregularidad de la forma del parche.</p>
Borde total (TE).	<p>TE = Suma del perímetro de todos los parches.</p>
Densidad de borde (ED).	<p>Cantidad de borde relativo al área del paisaje. ED = TE / TLA MPE</p>
Tamaño medio del parche (MPS).	<p>Este es un índice de fragmentación del hábitat. La reducción progresiva del tamaño de los fragmentos es un componente clave de la fragmentación del hábitat. Por ejemplo, un tipo de parche con un</p>

Métrica	Descripción
	<p>tamaño de parche medio menor que otro tipo de parche podría considerarse más fragmentado. (Mcgarigal & Marks, 1995), p.26).</p> $MPS = (\sum_{j=1}^n n^{*} a_{ij}) / n_i (1/10000)$ <p>Donde; n = ni: Número de parches en el paisaje del tipo de parche (clase) i a_{ij}: área del parche ij en m² j: 1, ..., n parches</p> <p>El rango en MPS está limitado por el grano y la extensión de la imagen y el tamaño mínimo del parche, de la misma manera que el área del parche (AREA). Rango: MPS > 0, sin límite (Mcgarigal & Marks, 1995, p. 87)</p>
Número de parches (NumPY).	Es el número total de parches en el paisaje.
Coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCoV).	Coeficiente de variación de parches. PSCoV = PSSD / MPS.
Desviación estándar del tamaño del parche (PSSD).	Desviación estándar de áreas de parche.
Área del paisaje (TLA).	Suma de áreas de todos los parches en el paisaje.
Área de Clase (CA)	<p>Suma de áreas de todos los parches pertenecientes a una clase dada. "Medida importante, pues un importante subproducto de la fragmentación del hábitat es la pérdida cuantitativa del hábitat. Además, muchas especies de vertebrados que se especializan en un hábitat particular tienen requisitos mínimos de área (Robbins y otros 1989)". (Mcgarigal & Marks, 1995), p.24).</p> $CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$ <p>Donde; a_{ij}: área en m² del parche ij. n = ni: Número de parches en el paisaje del tipo de parche (clase) i j: 1, ..., n parches</p> <p>CA se acerca a 0 cuando el tipo de parche se vuelve cada vez más raro en el paisaje. CA = TA cuando todo el paisaje consiste en un solo tipo de parche; es decir, cuando toda la imagen se compone de un único parche. Rango: CA > 0, sin límite. (Mcgarigal & Marks, 1995, p. 86)</p>

Fuente. Elaboración propia a partir de (Rempel et al., 2012); (Mcgarigal & Marks, 1995).

2.2.3 Selección de fragmentos y corredores

La selección de fragmentos y corredores se hace con el fin de identificar los polígonos que presentan los atributos óptimos para mejorar la conectividad a cada de los grupos focales. Esta selección se logra a partir de la metodología aplicada por (Monsalve Cuartas, 2009); donde se considera el área óptima para cada objeto de conectividad y el índice de forma (MSI).

Para el caso de la fauna, generalmente se considera como área óptima su *Home range* o en palabras de (Powell & Mitchell, 2012, p. 949), “el área atravesada por un individuo en sus actividades normales de recolección de alimentos, apareamiento y cuidado de crías Burt (1943: 352)”. En este caso y con el fin de direccionar este ejercicio a la mejora de la conectividad del grupo focal mamíferos pequeños – medianos, se recurre al uso de un *Home range* de (0.30 ha - 3000 m²) correspondiente a la especie *Didelphis marsupialis* - Zarigüeya (Sunquist, Austad, & Sunquist, 2013, p. 174), como parámetro para este análisis. Esta especie por ser muy común y con una amplia distribución, no se encuentran en ninguna categoría de amenaza según la UICN; sin embargo, la fragmentación puede poner en riesgo estas poblaciones; por lo tanto, se debe viabilizar la protección y conectividad de fragmentos (AMVA, 2017).

Para el caso de los humanos se considera como área mínima adecuada de estancia y recreación, los espacios de esparcimiento y encuentro (parques) según la clasificación de tamaño propuesta por en el Artículo 70 del POT de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2014).

Finalmente, a cada uno de estos polígonos le fue calculado el índice de forma (MSI). De esta manera los espacios verdes con un índice de forma mayor de 1.5 se clasifican como corredores y los que tienen un índice de forma menor de 1.5 son clasificados como fragmentos. Ver Tabla 2-7.

Tabla 2-7. Valores determinantes para la clasificación de fragmentos y corredores para cada uno de los grupos focales.

Grupo focal	Fragmento	Corredor
Humanos	Área (m²) Parque vecinal: 1.000 m ² – 3.000. Parque barrial: 3.000m ² – 10.000. Parque comunal:10.000m ² –50.000. Parque zonal: 50.000m ² –100.000. Índice de forma. MSI < 1.5	Área (m²) Parque vecinal: 1.000 m ² – 3.000. Parque barrial: 3.000 m ² – 10.000. Parque comunal:10.000m ² –50.000. Parque zonal: 50.000m ² – 100.000. Índice de forma. MSI > 1.5
Mamíferos pequeños - medianos	Home range 3000 m ² Índice de forma. MSI < 1.5	Home range 3000 m ² Índice de forma. MSI > 1.5

Fuente. Elaboración propia a partir de (Powell & Mitchell, 2012); (Alcaldía de Medellín, 2014) & (Monsalve Cuartas, 2009).

2.2.4 Selección de polígono óptimo para el inicio de la ruta de conexión a partir de la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico – AHP

- Contextualización metodológica.

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) fue desarrollado por (Saaty T. L., 1977) y se define como una “teoría de medición relativa con escalas absolutas tanto de criterios tangibles como intangibles basados en el juicio de personas conocedoras y expertas en el tema” (Saaty, s.f., p. 1). “Este método ha sido usado para abordar una amplia gama de problemas de decisión en varios dominios de investigación incluyendo la rama de las geociencias; proporcionando un instrumento valioso en situaciones donde se requieren el conocimiento, y preferencias de expertos (Boroushaki y Malczewski, 2008)”. (Prieto, 2011, p. 18)

Para usar este método, primero se debe definir una jerarquía a partir de la definición del problema, donde el nivel más alto se encuentra representado por el objetivo de decisión; el segundo nivel de la jerarquía contiene los criterios y el tercer nivel las alternativas. Dependiendo de la complejidad del problema, se pueden agregar más jerarquías que se denominarían subcriterios. El segundo paso es el cálculo de prioridad, en el cual se asigna

un puntaje de importancia de la alternativa o criterio en la decisión; tres tipos de prioridades deben ser calculadas:

Criterios prioritarios. Importancia de cada criterio con respecto al objetivo.

Alternativa local prioritaria. Importancia de una alternativa con respecto al criterio específico.

Alternativa global prioritaria (Criterios prioritarios y alternativas prioritarias locales). Las cuales son resultados intermedios utilizados para calcular la alternativa prioritaria global. Las alternativas prioritarias globales clasifican las alternativas con respecto a todos los criterios y consecuentemente el objetivo general. (Ishizaka & Nemery, 2013).

El análisis óptimo se logra a través del trabajo grupal multidisciplinar, permitiendo focalizar el problema a partir de la discusión de diferentes puntos de vista, mejorando el proceso de toma de decisión, permitiendo la clasificación detallada de información y de alternativas, y finalmente logrando que este método sea considerado para generar soluciones que integran varias posiciones en una sola solución de manera coherente (Prieto, 2011); para encontrar la solución que mejor se adapte al objetivo al integrar las diferentes disciplinas (Creative Decisions Foundation. , 2017). Para que el trabajo grupal sea consecuente (Prieto, 2011) recomienda que las reglas de decisión se diseñen en dos etapas:

En la primera manejar los valores de los criterios de forma individual de acuerdo a las preferencias de cada uno de los expertos o personas encargadas de tomar la decisión; y en la segunda, unir todas estas preferencias individuales en una única grupal que permita tomar la decisión final. (p.18).

▪ Implementación metodológica

Para la selección del polígono con las mejores características para iniciar la ruta de conexión del corredor ecológico, se tiene como insumo los fragmentos y corredores hallados para mamíferos y humanos, los cuales constituyen las alternativas de decisión.

Posteriormente con la participación de expertos en el tema territoriales específicos de conectividad ecológica urbana y en Análisis Jerárquico de Decisión – AHP, se seleccionó cinco criterios de importancia significativa para cada grupo focal: *grado de pendiente, área, tipología de zona verde, proximidad a fuentes hídricas y distancia a vecino.* Estos criterios son medibles y evaluables, con el fin de que su aporte sea determinante para calificar su pertenencia dentro del modelo.

Para el cálculo de prioridad fueron asignadas preferencias a cada uno de estos criterios, considerando que la suma total por todos los criterios de cada grupo focal corresponda al 100%; y que la suma total entre las preferencias por los dos grupos focales también corresponda al 100%. Ver Figura 2-7.

La valoración de las alternativas se hace de forma cuantitativa y cualitativa; respondiendo al tipo de favorabilidad que tiene el criterio, así, mientras algunos presentan mayor favorabilidad cuando tienen valores altos, otros presentan mayor favorabilidad cuando tienen valores bajos; por ejemplo, la pendiente. Lo anterior se especifica en la Tabla 2-8.

Para cada categorización de los criterios, se procedió a considerar:

Área. Cada categoría fue determinada de forma consecuente para ambos grupos focales, siendo 1000 el valor mínimo y 12200 el valor máximo presente entre el total de las alternativas de decisión. Se decide asignar un nivel de preferencia mayor mientras la categoría presenta un área más grande. El valor mínimo (1000 -3000) no se le asigna un valor significativamente bajo, debido a que un área en este rango, sigue siendo importante para los dos grupos focales acá analizados, debido a que se localiza en zona urbana.

Zonas verdes. Cada nivel de preferencia fue determinado de forma consecuente con ambos grupos focales, considerando que mientras más naturalizada se presenta la cobertura (en este caso retiros de quebrada) tendrá un nivel de preferencia mayor. A medida que disminuye el protagonismo natural en el polígono, disminuye el nivel de preferencia.

Pendiente. Cada categoría fue determinada de forma consecuente para el grupo focal humanos. Se descarta para los mamíferos pequeños a medianos debido a que la microcuencia presenta pendientes inferiores al 30%, las cuales no son determinantes para el uso por parte de este grupo focal. Las pendientes se categorizan de 0 -5 % debido a que este rango cumple la función de inclusión con respecto a las personas que presenta movilidad reducida (Ministerio de Salud, 1985); de 5 – 16 % debido a que éste último valor corresponde a la pendiente máxima permitida para la constitución de vías vehiculares del sistema vial según el Artículo 29 de (Alcaldía de Medellín, 2007). En este sentido, si no hay

vías no hay construcciones y por lo tanto son zonas “no accesibles” a las personas. De esta manera se determina que mientras la pendiente tenga una inclinación superior a 16%, tendrá un nivel de preferencia menor.

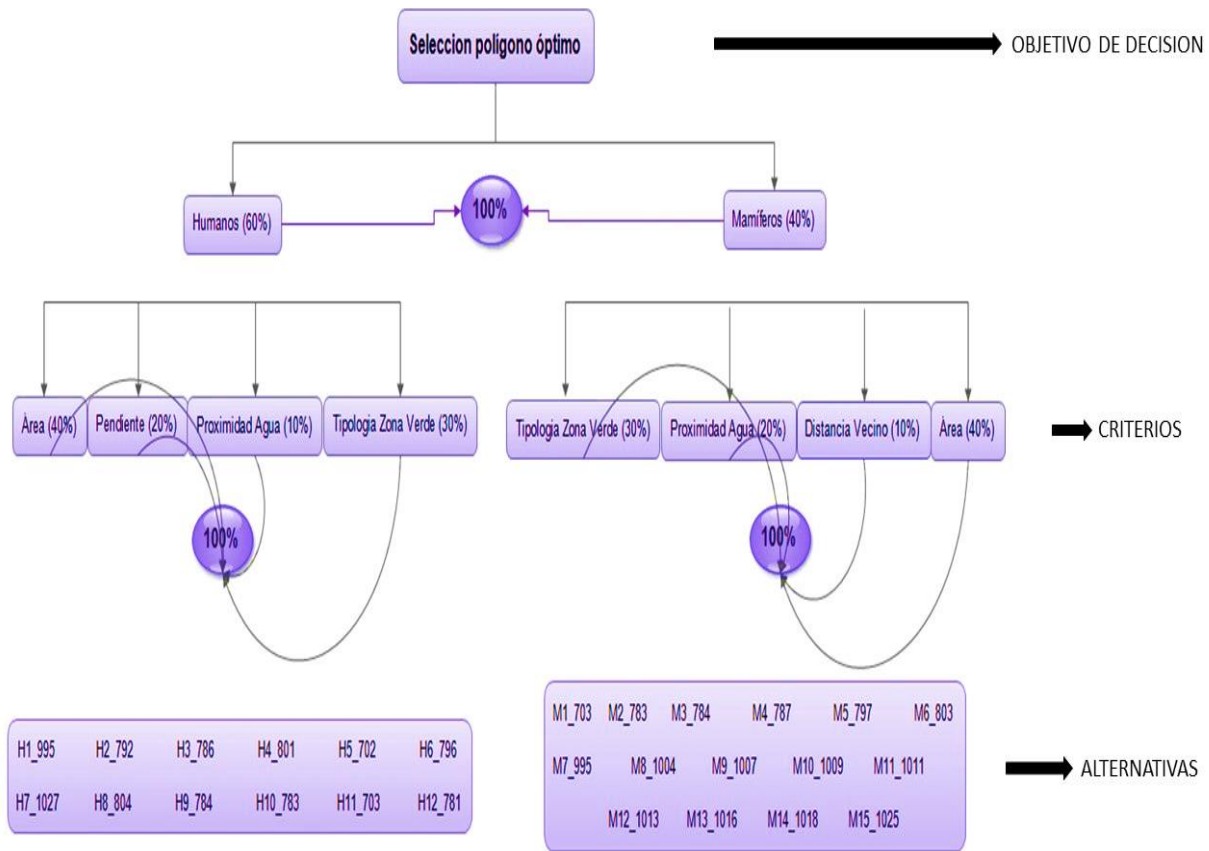


Figura 2-7. Modelo Jerárquico. Criterios y pesos de importancia según objetivo de decisión. Fuente. Elaboración propia.

Proximidad a Agua. Cada nivel de preferencia fue determinado de forma consecuente con ambos grupos focales. Se asigna un nivel de preferencia mayor 100 a medida que la distancia a cuerpo de agua es menor; esto considerando que para el grupo focal mamíferos estos lugares son importantes como sumideros y para los humanos son elementos del espacio urbano que deben ser recuperados para el disfrute.

Distancia a vecino. Cada nivel fue determinado de forma consecuente con el grupo focal mamíferos. Debido a que una menor distancia entre objetos naturales del paisaje refiere a

menor fricción para la conectividad, se determina que a medida que la distancia es menor, se le asigna un nivel de preferencia mayor y viceversa.

Tabla 2-8. Criterios, su valoración y favorabilidad según grupo focal.

Grupo focal	Criterio		Tipo	Valor deseable	Observación
Personas/ Mamíferos	Área de parche (AP).	Área en metros cuadrados de cada parche.	Cuantitativo	Alto	El área más grande es el más importante.
Personas/ Mamíferos	Zonas verdes	Tipo de cobertura que predomina en cada parche según información suministrada.	Cualitativo	Retiros de quebrada	La zona verde más natural es la más importante
Personas/ Mamíferos	Proximidad a agua	Proximidad del polígono más cercano a una corriente de agua.	Cuantitativo	Bajo	El menor valor de distancia a agua es el más importante.
Personas	Pendiente	Porcentaje de inclinación topográfica dominante en el polígono.	Cuantitativo	Bajo	El menor porcentaje de inclinación sobre la horizontal es el más importante.
Mamíferos	Distancia a vecino.	Distancia desde un polígono de entrada a todos los polígonos restantes.	Cuantitativo	Bajo	El menor valor de distancia a vecino es el más importante.

Fuente. Elaboración propia.

El rendimiento de estos polígonos de fragmentos y corredores (alternativas de decisión) respecto a los criterios establecidos, fueron evaluados con el software *Super Decisions* (Creative Decisions Foundation, 2016), a través de la herramienta *Ratings*, la cual “en lugar de hacer comparaciones por parejas para las alternativas, usa una cuadrícula de datos, combinando el poder de la jerarquía y el proceso de comparación por pares con la capacidad de evaluar cientos o incluso miles de alternativas” (Saaty R. W., 2016, p. 69).

Para lograr esto, se estableció rangos de valoración para los criterios cuantitativos y escalas categóricas para los criterios cualitativos. Los niveles de preferencia en las escalas de valoración van desde 0 – 100, donde 0 es *no favorable* y 100 es *muy favorable*. Ver Tabla 2-9.

Tabla 2-9. Nivel de preferencia por categoría perteneciente a cada criterio.

Ratings General		
Área (m²)	Nivel de preferencia	
1000 - 3000	60	19%
3000 - 6000	75	23%
6000 - 9000	85	27%
9000 - 12200	100	31%
Tipología zona verde	Nivel de preferencia	
Zonas verdes pasto limpio	20	6%
Zonas verdes pasto enmalezado	60	18%
Zonas verdes pasto arbolado	70	21%
Zonas verdes arboladas	80	24%
Retiros de quebrada	100	30%
Pendiente (%)	Nivel de preferencia	
0 - 5	100	50%
5 - 16	66	33%
16 - 30	33	17%
Proximidad Agua(m)	Nivel de preferencia	
0 - 30	100	43%
30 - 50	75	32%
50- 110	60	26%
Distancia Vecino (m)	Nivel de preferencia	
0 - 30	100	49%
30 - 100	60	29%
100 - 173	44	22%

Fuente. Elaboración propia.

En general, a través del Proceso Analítico Jerárquico - AHP, se busca destacar un mayor interés en aquellas polígonos verdes que presentan un área más grande y naturalizada, una pendiente baja y una proximidad al eje hídrico y distancia a vecino mínima; generando un ranking ordenado de las alternativas presentadas; donde la opción que clasifica como la más importante (No. 1) corresponde al polígono con las características “óptimas”, y por lo tanto es integrado al corredor como punto de inicio de red.

2.2.5 Determinación del corredor para la conectividad a partir de la aplicación de método de costo de viaje.

- Contextualización metodológica.

“El análisis de las redes ecológicas es una manera de examinar el estado de la conectividad del hábitat, a través de la forma en que están vinculados individuos y poblaciones, y cuáles son sus interacciones con el paisaje (Opdam et al. 2006)” (Mchugh & Thompson, 2011, p. 236). en este sentido, el método de ruta de menor costo ha demostrado ser útil en varios estudios como (Li-yun, 2017), (Lee et al., 2014), (Bedoya, 2013), (Yu, Xun, Shi, Shao, & Liu, 2012), (Nikolakaki, 2004). (Adriaensen et al., 2003)... entre otros, para conectar elementos de la estructura de paisaje. Este método puede ayudar a generar el mejor camino teórico para conectar hábitats adecuados para la dispersión de la fauna silvestre (Lee et al., 2014); pues determina la respuesta comportamental de un individuo.

“Las rutas de menor costo se basan en un algoritmo que considera una grilla de fricción o resistencia donde cada celda indica la dificultad o costo de moverse a través de ella y busca el camino con la menor suma de fricciones denominada como la distancia de menor costo (Adriaensen et al., 2003; Hargrove et al., 2004)” (Cubides, 2011, p. 10). En general, este método usa como insumos dos capas GIS (la capa fuente y la capa de resistencia). La capa fuente representa los parches de paisaje y la capa resistencia representa la dificultad mediante valores de ponderación de los costos relativos de desplazamiento. Este método considera cuatro pasos: área de origen; creación de un raster de costo-superficie; asignación del destino zona y la creación de rutas potenciales de menor costo entre origen / destino. El área de origen y destino genera una superficie ponderada en función del costo, el cual es el valor de coste relacionado con el movimiento en cada cuadrícula, que puede generarse mediante la superposición del raster de costos, área de origen y destino (Lee et al., 2014).

Las funciones de costo de distancia son similares a las funciones euclidianas, pero en lugar de calcular la distancia real de un punto a otro, estas determinan la distancia ponderada más corta (o costo acumulado de viaje) de cada celda a la celda más cercana. “Todas las funciones de distancia ponderada requieren una trama de origen (extremo de cada parche de hábitat) y una trama de costo (mapa de permeabilidad)”. (Rodriguez Soto, Vilchis Monroy, & Zarco Gonzalez, 2013, p. 439).

Este análisis es uno de los mejores métodos para conseguir la estructuración óptima de trayectorias entre elementos de paisaje y se basa en el hecho de que la fauna y flora se

ven afectados por los cambios en las características del paisaje (Lee et al., 2014). La técnica de menor costo, relaciona la estructura del paisaje con la conectividad e implica menor cantidad de datos que otros modelos como los modelos poblacionales espacialmente explícitos, o que los índices del paisaje ecológicamente escalados (Cubides, 2011).

▪ Implementación metodológica

La ruta de menor costo o de menor resistencia al movimiento en el paisaje, se desarrolló a partir de la herramienta *Corridor Designer* del software Arcgis 10.3 (Rempel et al., 2012). Esta herramienta considera la construcción de una matriz de resistencia o raster de aptitud para cada una de los grupos focales, a partir de la información en formato raster de cada uno de los factores de hábitat que hacen parte de los elementos que caracterizan la fricción en el paisaje; en este caso se recurre a usar como factores de hábitat los mismos criterios anteriormente usados en el ítem 2.2.4 para la selección de polígonos, esto con el fin de que el modelo sea consecuente. En la Tabla 2-10 se observan algunas características generales de cada uno de estos criterios.

Tabla 2-10. Elementos para para la construcción de raster de resistencia de hábitat.

Medida de fricción	Observación
Área	A partir de información cartográfica suministrada (A. de Envigado, 2015).
Pendiente	Con base en las curvas de nivel cada 50 m (M. De Envigado, 2011), se construyó un modelo TIN y posteriormente se determinó las pendientes en función de porcentaje.
Distancia a vecino	A través de la herramienta <i>Point distance</i> la cual determina las distancias desde un polígono de entrada a todos los polígonos restantes cercanos dentro de un radio de búsqueda específico. En este caso se usó una distancia de dispersión para mamíferos de 1000 m. (Sunquist et al., 2013, p, 175).
Proximidad a agua	Este determina la distancia en metros que se presenta de cada celda hasta el cuerpo de agua más cercano. Se usó la herramienta <i>Spatial Analyst Tools -Distance – Euclidean distance</i> del software Arcgis 10.3.
Tipología zona verde	A partir de información cartográfica suministrada (Alcaldía de Envigado, 2015).

Fuente. Elaboración propia.

El *Corridor Designer* precisa que cada raster sea calificado a partir de una escala de 0 – 100, donde una resistencia de 100 para cada pixel hace referencia a una aptitud compatible o con menos fricción. Cada criterio tendrá un valor igual o próximo a 100 a medida que se

presente menos fricción o represente menos resistencia al desplazamiento a través del elemento espacial; tendrá un valor de 0 toda vez que represente más resistencia (ExpressionEngine, 2007). La suma de las preferencias de todos estos factores de hábitat para cada grupo focal, debe sumar 100. Con el fin de que el modelo sea consecuente, se determinó para este caso usar las mismas preferencias asignados para el modelo de análisis de decisión Ver Tabla 2-9. Este modelo de adecuación o aptitud de hábitat se gestionó a través de la herramienta *Habitat Modeling* del software *Corridor Designer* (ExpressionEngine, 2007), la cual reclasifica y combina los factores de hábitat, para crear un modelo de adecuación de hábitat (HSM).

Finalmente se determina que el polígono que hace parte de la desembocadura de la Q. La Sebastiana a la Q. La Ayurá debe ser involucrado dentro de este corredor, debido a su importancia como elemento conector de procesos que involucra las dinámicas de ambas quebradas (La Sebastiana y La Ayurá) y a el carácter abastecedor de la cuenca de la quebrada La Aburrá (AMVA; Corporación Autonoma Regional del Rio Nare [Cornare], 2007). Este polígono junto con el polígono de importancia para conectar según el método AHP anteriormente mostrado en el ítem 2.2.4, y la información de resistencia en formato raster; son los elementos a partir de los cuales se calcula el costo – distancia para cada pixel. Finalmente se produce el mapa de costo – distancia, a partir de franjas continuas de píxeles permeables.

3. Resultados

3.1 La estructura del conjunto de zonas verdes

A nivel de paisaje se implementaron métricas para analizar los barrios que hacen parte del área de estudio con el fin de obtener una mejor comprensión de la microcuenca dentro del territorio.

Debido a que el barrio La Sebastiana se encuentra ubicado alrededor de la zona donde desemboca la quebrada del mismo nombre (zona de máxima estreches de la microcuenca), este presenta menor representatividad y por lo tanto menor área de clase (CA) y densidad de borde (ED), con respecto a los demás barrios. El barrio La Inmaculada presenta un índice de forma media ponderada de (AWMSI) = 2,6, el mayor tamaño medio de parche (MPS) = 645,79 y la mayor desviación estándar del tamaño de parche (PSSD) = 1918,34; con respecto a los otros dos barrios analizados. Por su parte el barrio La Pradera, muestra que las métricas de número de parches (NumPY) = 239, coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCoV) = 370,10 y área de clase (CA) = 70, 874; son significativamente mayores con respecto a los demás barrios analizados. Ver Figura 3-1.

A nivel de fragmento se procede a analizar estos datos según el resultado obtenido de cada métrica, esto se logra a partir de la reagrupación en clases, para el total de los 334 polígonos encontrados en el área de estudio. Con respecto a las métricas utilizadas se tiene:

Área de parche (AP). La mayoría de los fragmentos (312), presentan un área pequeña entre 0,8001 y 1346,9519 ha. Ver Tabla 3-1. Los fragmentos más grandes entre 5385,4071 y 12116,1660 ha, están representados por solo seis fragmentos. Ver Figura 3-2.

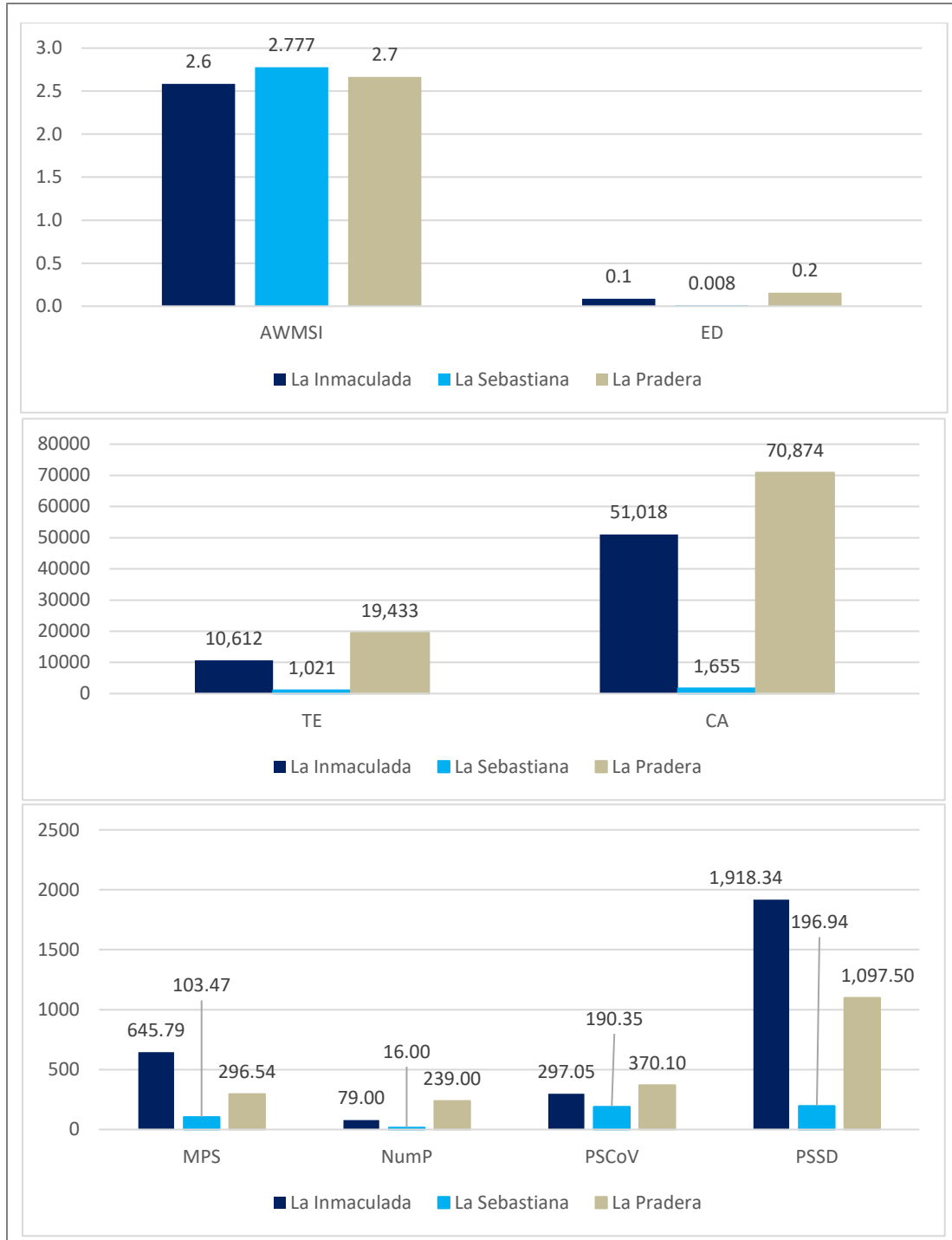


Figura 3-1. Métricas implementadas a nivel de paisaje para la zona de estudio.

Tabla 3-1. Área de parche (AP) de la zona de estudio.

Clase	Límite Inferior (ha)	Límite Superior (ha)	Clase	Frecuencia	% Acumulado
1	0,8001	1346,9519	1346,9519	312	93,69%
2	1346,9519	2693,1036	2693,1036	7	95,80%
3	2693,1036	4039,2554	4039,2554	1	96,10%
4	4039,2554	5385,4071	5385,4071	7	98,20%
5	5385,4071	6731,5589	6731,5589	2	98,80%
6	6731,5589	8077,7107	8077,7107	2	99,40%
7	8077,7107	9423,8624	9423,8624	0	99,40%
8	9423,8624	10770,0142	10770,0142	0	99,40%
9	10770,0142	12116,1660	12116,166	3	100,00%

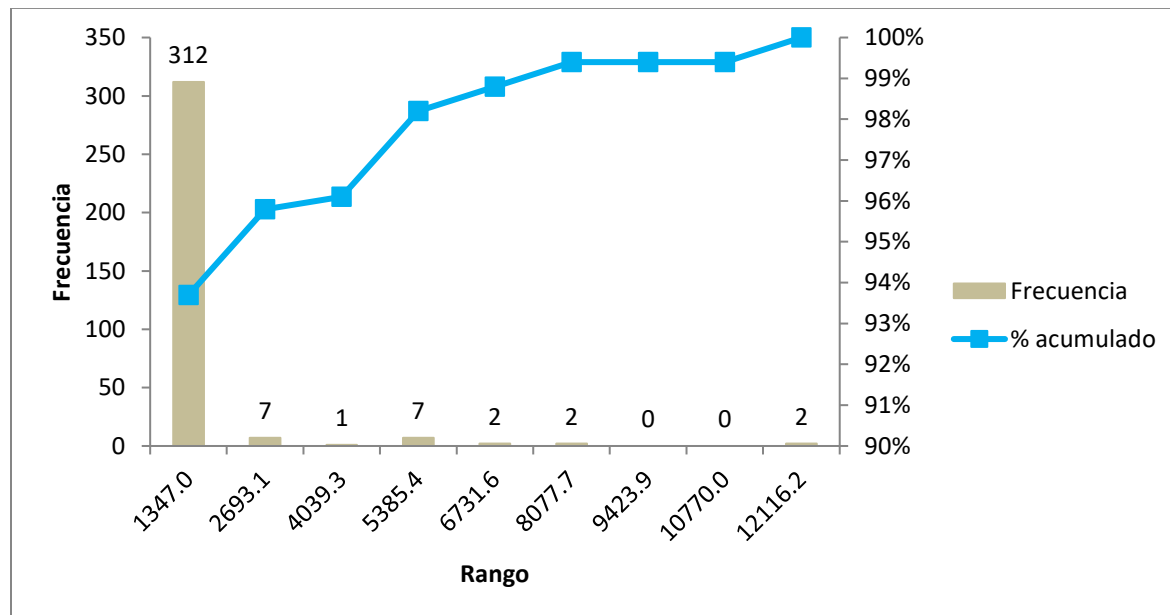


Figura 3-2. Área de parche (AP) de la zona de estudio.

Índice de forma media (MSI). En la Tabla 3-2 se observa que 186 polígonos (55,69%), presentan un MSI entre 1,0871 y 1,8143. Solo tres objetos tienen valor MSI entre 6,1774 y 7,6318. Figura 3-3.

Tabla 3-2. Índice de forma promedio (MSI) por fragmento de la zona de estudio

Clase	Límite inferior (ha)	Límite superior (ha)	Clase	Frecuencia	% Acumulado
1	1,0871	1,8143	1,8143	186	55,69%
2	1,8143	2,5415	2,5415	62	74,25%

Clase	Límite inferior (ha)	Límite superior (ha)	Clase	Frecuencia	% Acumulado
3	2,5415	3,2686	3,2686	40	86,23%
4	3,2686	3,9958	3,9958	21	92,51%
5	3,9958	4,7230	4,7230	13	96,41%
6	4,7230	5,4502	5,4502	5	97,90%
7	5,4502	6,1774	6,1774	4	99,10%
8	6,1774	6,9046	6,9046	2	99,70%
9	6,9046	7,6318	7,6318	1	100,00%

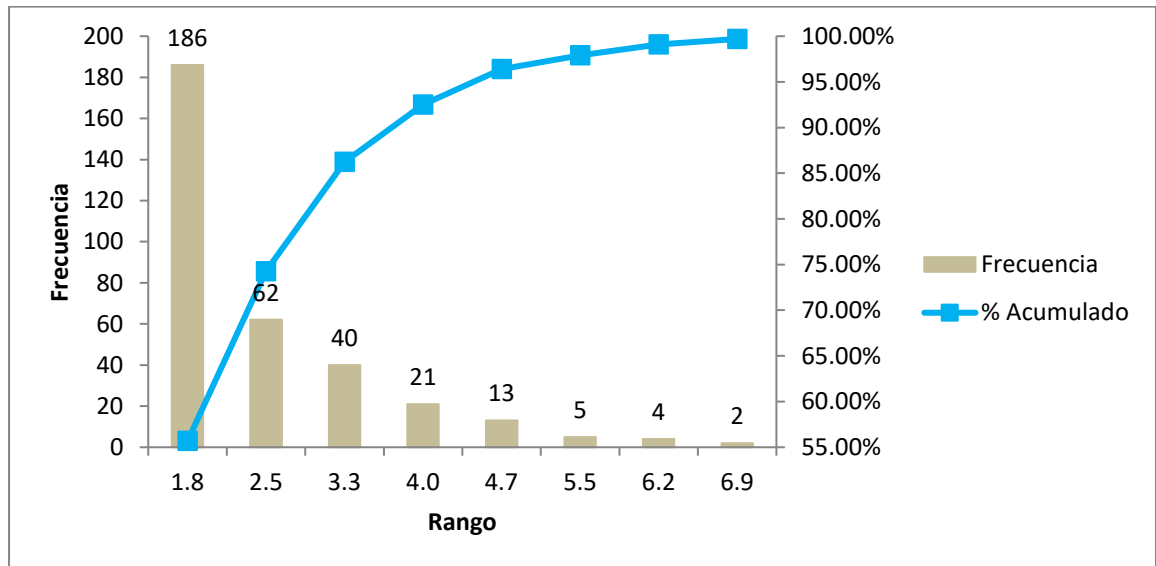


Figura 3-3. Índice de forma promedio (MSI) por fragmento de la zona de estudio.

3.2 Fragmentos y corredores seleccionados

La selección de fragmentos y corredores para cada grupo focal se plantea como paso previo para obtener el polígono óptimo que conectará la red.

Para el grupo focal de los humanos se obtuvo que tres fragmentos y nueve corredores (12 polígonos), cuentan con características ideales para conectar estructuras verdes. De todos estos, los ID: H2_792, H4_801, H6_796 y H8_804 aunque se encuentran en predios privados, son considerados en este análisis debido a que se encuentran incorporados dentro de la tipología de retiro de quebrada. En la Tabla 3-3 se muestran las características generales de cada uno de los polígonos que clasificaron dentro de esta selección para el grupo focal humanos y en la Figura 3-4 se muestra la distribución espacial de estos dentro de la zona de estudio.

Tabla 3-3. Fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal humanos.

ID	Parque	Área (m ²)	MSI	Tipología Zona Verde	Tipo bien	Tipo
H1_995	Barrial	5058,231	1,416	Zonas verdes publico	Predio publico	Fragmento
H2_792	Vecinal	2952,696	3,858	Retiros de quebrada	Predio privado	Corredor
H3_786	Vecinal	1329,336	1,634	Retiros de quebrada	Predio privado	Corredor
H4_801	Vecinal	1471,824	3,356	Retiros de quebrada	Predio privado	Corredor
H5_702	Vecinal	1289,621	1,566	Retiros de quebrada	Predio publico	Corredor
H6_796	Vecinal	1753,734	1,482	Retiros de quebrada	Predio privado	Fragmento
H7_1027	Vecinal	2630,713	1,400	Zonas verdes publico	Predio publico	Fragmento
H8_804	Vecinal	2674,653	2,714	Retiros de quebrada	Predio privado	Corredor
H9_784	Barrial	5206,568	2,405	Zonas verdes publico	Predio publico	Corredor
H10_783	Barrial	4146,609	2,397	Retiros de quebrada	Predio publico	Corredor
H11_703	Barrial	5637,577	3,570	Retiros de quebrada	Predio publico	Corredor
H12_781	Vecinal	1014,492	1,657	Retiros de quebrada	Predio publico	Corredor

En el caso del grupo focal de los mamíferos pequeños a medianos, se seleccionó tres fragmentos y 12 corredores para un total de 15 polígonos. En este caso, los polígonos que se encuentran en predio privado fueron considerados en su totalidad en el análisis; pues la tipología en cuanto a público o privado, no representa un obstáculo para el libre aprovechamiento de estos espacios por la fauna silvestre asociada a estos espacios urbanos. En la Tabla 3-4 se muestran las características generales de cada uno de estos polígonos y en la Figura 3-5 se muestra la distribución espacial de estos polígonos dentro del área de estudio.

Tabla 3-4. Fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal los mamíferos pequeños a medianos.

ID	Parque	Área (m ²)	MSI	Tipología zona verde	Tipo bien	Tipo
M1_703	Barrial	5637,284	3,570	Retiros de quebrada	Predio publico	Corredor
M2_783	Barrial	4146,394	2,397	Retiros de quebrada	Predio publico	Corredor
M3_784	Barrial	5206,297	2,405	Zonas verdes	Predio publico	Corredor
M4_787	Barrial	9887,192	2,540	Retiros de quebrada	Predio privado	Corredor
M5_797	Comunal	12116,166	3,683	Retiros de quebrada	Predio privado	Corredor
M6_803	Barrial	5756,556	3,797	Retiros de quebrada	Predio privado	Corredor
M7_995	Barrial	5057,968	1,416	Zonas verdes	Predio publico	Fragmento
M8_1004	Comunal	11991,769	2,823	Zonas verdes privadas	Predio privado	Corredor
M9_1007	Barrial	5017,048	2,072	Zonas verdes privadas	Predio privado	Corredor
M10_1009	Barrial	4052,868	1,391	Zonas verdes privadas	Predio privado	Fragmento

ID	Parque	Área (m ²)	MSI	Tipología zona verde	Tipo bien	Tipo
M11_1011	Barrial	3196,023	1,217	Zonas verdes privadas	Predio privado	Fragmento
M12_1013	Barrial	6975,229	1,809	Zonas verdes privadas	Predio privado	Corredor
M13_1016	Barrial	4722,311	1,897	Zonas verdes privadas	Predio privado	Corredor
M14_1018	Barrial	6757,579	2,843	Zonas verdes privadas	Predio privado	Corredor
M15_1025	Barrial	4343,434	2,456	Zonas verdes privadas	Predio privado	Corredor

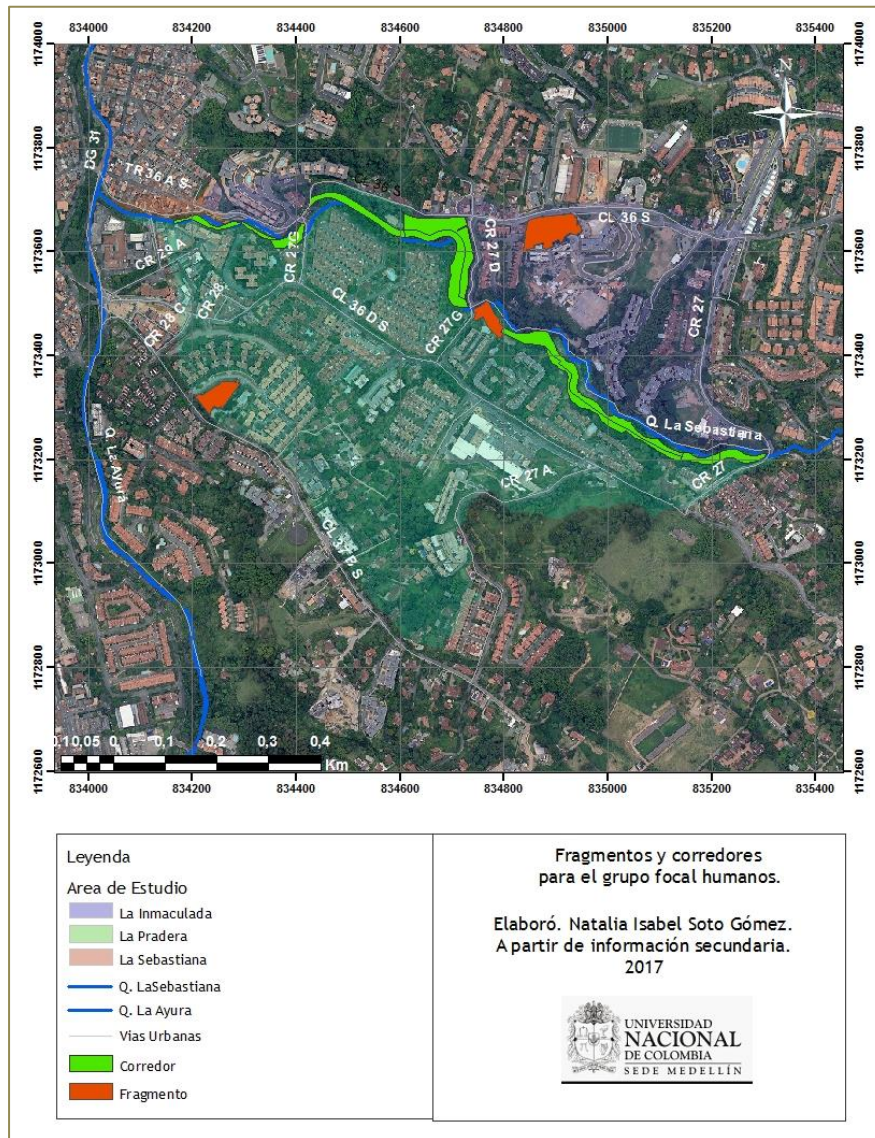


Figura 3-4. Mapa de distribución espacial de fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal humanos dentro del área de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de (Alcaldía de Envigado, 2015).

Como se observa en la Tabla 3-3 y Tabla 3-4, los polígonos _995, _784, _783 y _703, fueron seleccionados como potenciales fragmentos y corredores para ambos grupos focales

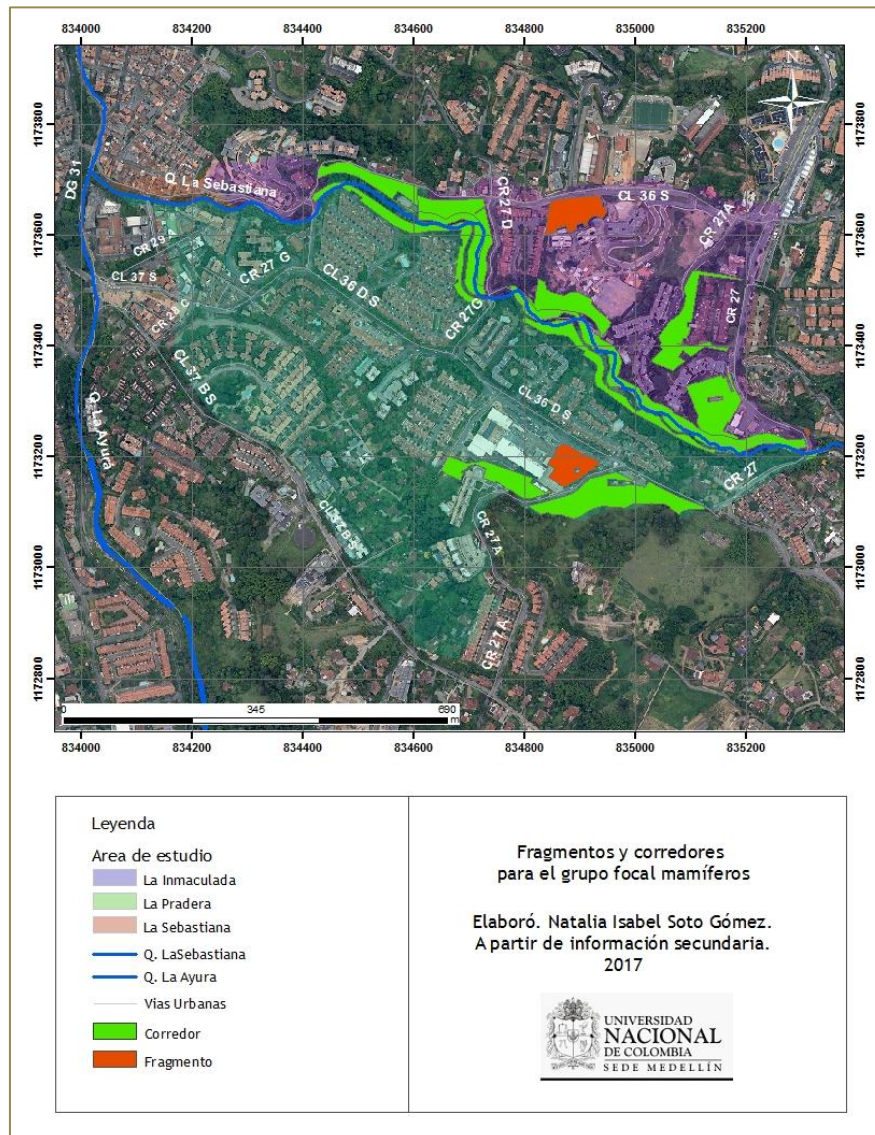


Figura 3-5. Mapa de distribución espacial de fragmentos y corredores seleccionados para el grupo focal mamíferos pequeños a medianos dentro del área de estudio. Fuente. Elaboración propia a partir de (Alcaldía de Envigado, 2015).

3.3 Alternativa seleccionada para el inicio de la ruta de conexión a partir de la implementación del Proceso Analítico Jerárquico – AHP.

La totalidad de los 12 polígonos entre fragmentos y corredores hallados para el grupo focal humanos (Tabla 3-3) más la totalidad de los 15 polígonos entre fragmentos y corredores hallados para el grupo focal mamíferos pequeños a medianos (Tabla 3-4), constituyen el total de las 27 alternativas que hacen parte del modelo de análisis de decisión multicriterio propuesto.

A partir de las preferencias establecidas en la Tabla 2-9, se articula la matriz de comparaciones que se observa en la Figura 3-6, donde las columnas muestran el total de las alternativas de decisión y las filas muestra los criterios implementados. En esta matriz, el criterio *Pendiente* muestra celdas vacías para las alternativas de mamíferos debido a que este criterio no fue evaluado para este grupo focal. El criterio *Distancia a vecino*, muestra la misma situación pero para el grupo focal humanos. Los criterios restantes fueron evaluados para ambos grupos focales, ingresando uno a uno los valores para cada alternativa, especificados en la Tabla 2-9.

Columna	Priorities	Totals	Área	Tipología zona verde	Pendiente	Proximidad_agua	Distancia vecino
			0.400000	0.300000	0.120000	0.140000	0.040000
H1_995	0.035858	0.717574	3000 - 6000	Zonas verdes arboladas	16-30	0-30	
H2_792	0.038196	0.764361	1000 - 3000	Retiros de quebrada	5-16	0-30	
H3_786	0.040235	0.805161	1000 - 3000	Retiros de quebrada	0-5	0-30	
H4_801	0.040235	0.805161	1000 - 3000	Retiros de quebrada	0-5	0-30	
H5_702	0.040235	0.805161	1000 - 3000	Retiros de quebrada	0-5	0-30	
H6_796	0.040235	0.805161	1000 - 3000	Retiros de quebrada	0-5	0-30	
H7_1027	0.035447	0.709347	1000 - 3000	Zonas verdes arboladas	0-5	30-50	
H8_804	0.038196	0.764361	1000 - 3000	Retiros de quebrada	5-16	0-30	
H9_784	0.035987	0.720160	3000 - 6000	Zonas verdes arboladas	5-16	30-50	
H10_783	0.040775	0.815974	3000 - 6000	Retiros de quebrada	5-16	0-30	
H11_703	0.042814	0.856774	3000 - 6000	Retiros de quebrada	0-5	0-30	
H12_781	0.040235	0.805161	1000 - 3000	Retiros de quebrada	0-5	0-30	
M1_703	0.038816	0.776774	3000 - 6000	Retiros de quebrada		0-30	0-30
M2_783	0.038816	0.776774	3000 - 6000	Retiros de quebrada		0-30	0-30
M3_784	0.033052	0.661425	3000 - 6000	Zonas verdes arboladas		50-110	0-30
M4_787	0.043974	0.880000	9000 - 12200	Retiros de quebrada		0-30	0-30
M5_797	0.043974	0.880000	9000 - 12200	Retiros de quebrada		0-30	0-30
M6_803	0.041395	0.828387	6000 - 9000	Retiros de quebrada		0-30	0-30
M7_995	0.038397	0.768387	6000 - 9000	Zonas verdes arboladas		0-30	0-30
M8_1004	0.036711	0.734651	9000 - 12200	Zonas verdes pasto arbolado		50-110	0-30
M9_1007	0.024057	0.481425	3000 - 6000	Zonas verdes pastos limpios		50-110	0-30
M10_1009	0.031718	0.634733	3000 - 6000	Zonas verdes pasto enmalezado		0-30	100-173
M11_1011	0.033052	0.661425	3000 - 6000	Zonas verdes arboladas		50-110	0-30
M12_1013	0.026636	0.533038	6000 - 9000	Zonas verdes pastos limpios		50-110	0-30
M13_1016	0.033212	0.664634	3000 - 6000	Zonas verdes arboladas		30-50	30-100
M14_1018	0.034815	0.696712	6000 - 9000	Zonas verdes arboladas		50-110	30-100
M15_1025	0.032927	0.658919	3000 - 6000	Zonas verdes arboladas		30-50	100-173

Figura 3-6. Matriz de comparaciones. Fuente. Elaboración propia a partir del uso de la herramienta Ratings del software *SuperDecision* (Creative Decisions Foundation, 2016).

Finalmente, el software *Super Decisión* proyecta un informe síntesis donde se visualiza el ranking de importancia de las alternativas presentadas. En la Figura 3-7 se muestra que las alternativas M5-797 y M4-787 ocupan los lugares 1 y 2 respectivamente, siendo estos polígonos igualmente valorados en la priorización con respecto a la totalidad de las alternativas evaluadas según el valor *Ideal* normalizado.

Alternative Rankings

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	H1_995	0.0359	0.0359	0.8154	18
	H2_792	0.0382	0.0382	0.8686	15
	H3_786	0.0402	0.0402	0.9150	7
	H4_801	0.0402	0.0402	0.9150	9
	H5_702	0.0402	0.0402	0.9150	10
	H6_796	0.0402	0.0402	0.9150	6
	H7_1027	0.0354	0.0354	0.8061	19
	H8_804	0.0382	0.0382	0.8686	14
	H9_784	0.0360	0.0360	0.8184	17
	H10_783	0.0408	0.0408	0.9272	5
	H11_703	0.0428	0.0428	0.9736	3
	H12_781	0.0402	0.0402	0.9150	8
	M1_703	0.0388	0.0388	0.8827	12
	M2_783	0.0388	0.0388	0.8827	11
	M3_784	0.0331	0.0331	0.7516	23
	M4_787	0.0440	0.0440	1.0000	2
	M5_797	0.0440	0.0440	1.0000	1
	M6_803	0.0414	0.0414	0.9413	4
	M7_995	0.0384	0.0384	0.8732	13
	M8_1004	0.0367	0.0367	0.8348	16
	M9_1007	0.0241	0.0241	0.5471	27
	M10_1009	0.0317	0.0317	0.7213	25
	M11_1011	0.0331	0.0331	0.7516	22
	M12_1013	0.0266	0.0266	0.6057	26
	M13_1016	0.0332	0.0332	0.7553	21
	M14_1018	0.0348	0.0348	0.7917	20
	M15_1025	0.0329	0.0329	0.7488	24

Figura 3-7. Ranking de priorización de alternativas. Fuente. (Creative Decisions Foundation. , 2017).

3.4 Corredor ecológico definido para la conectividad del paisaje

A partir de la información arrojada por el Ranking de alternativas, donde la mejor alternativa es el polígono M5_797, se determina que éste inicia la red. Así mismo, se establece que el polígono correspondiente a la desembocadura de la Q. La Sebastiana a la Q. La Ayurá, es el polígono final de red. Esta información conjunta con el modelo de adecuación de hábitat o mapa de aptitud para el grupo focal mamíferos pequeños a medianos (debido a que este polígono pertenece a este grupo focal con las mejores características), es el insumo gestionado a través de la herramienta *Corridor Modelling* del software *Corridor Designer* (ExpressionEngine, 2007), para obtener el corredor de conectividad. Finalmente se selecciona un porcentaje de estructura verde que compone el ancho del corredor viable en 5% como se ve en la Figura 3-8, la cual representa la máxima amplitud de corredor sin intervenir predios privados.

Este corredor tiene aproximadamente 1650m desde la Trv 36ª Sur con Cl 36e Sur hasta la Trv 36 Sur con Cr 27D y en los puntos de mayor amplitud presenta valores como: 62m aprox. a la altura de la urbanización Gascona, 76m aprox. a la altura de la urbanización Siena y 67m aprox. a la altura de la urbanización Ibiza.

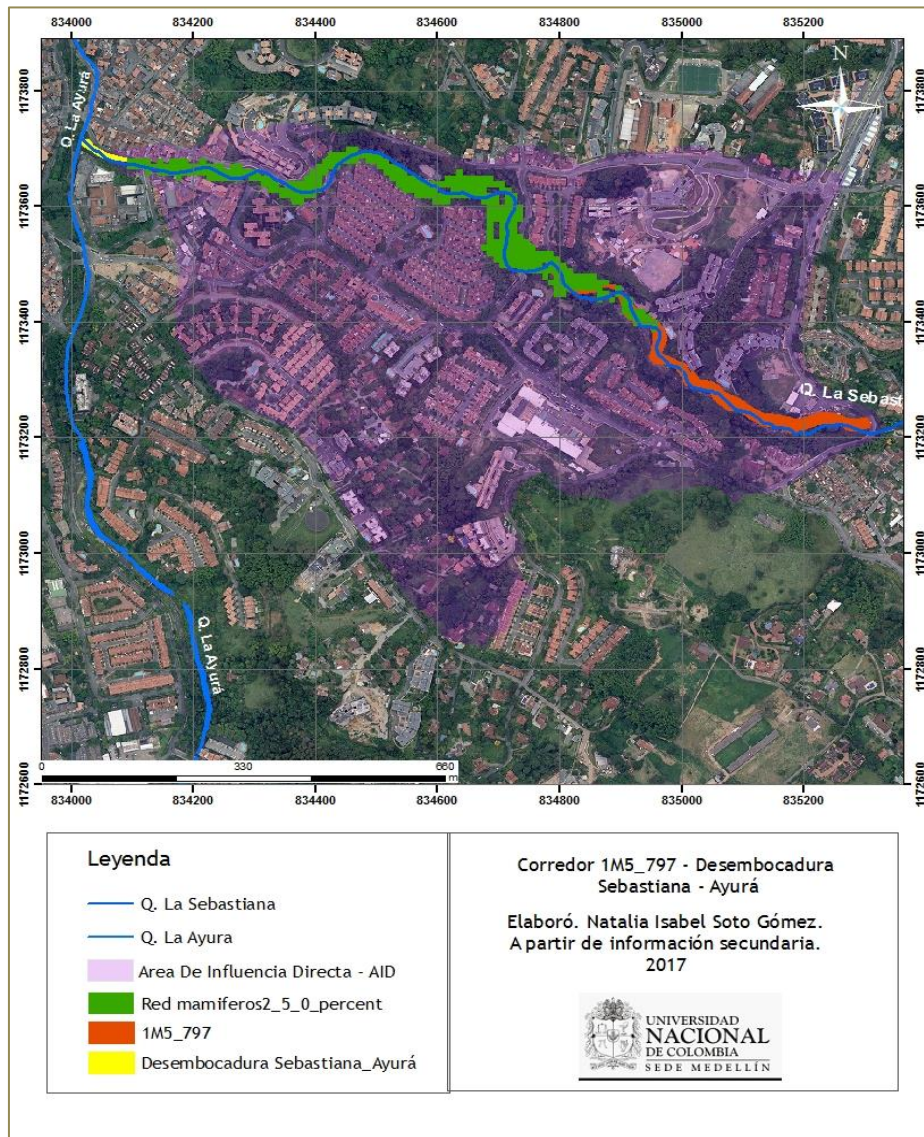


Figura 3-8. Red mamíferos_1M5_797. Fuente. Elaboración propia a partir de (Alcaldía de Envigado, 2015), (Alcaldía de Envigado, 2006)(Colombia, 2015)

4. Discusión

- *El análisis de la estructura espacial del verde urbano en la microcuenca La Sebastiana.*

A partir del análisis estructural realizado, se permitió reconocer 541 parches ocupando un área total de 523,11 ha; éste resultado muestra a grandes rasgos un paisaje menos fragmentado en comparación con la microcuenca La Zúñiga, la cual cuenta con una mayor cantidad de parches (706) y en un área mucho menor (220,32). La Sebastiana presenta un valor AWMSI = 2,68, MPS = 1,10 y el PSSD = 3,80; evidenciando formas ligeramente regulares o antropizadas, no tan pequeñas y dispersas. Todo esto evidenciando un paisaje heterogéneo y fragmentado y por lo tanto, con condiciones que aunque no ideales pueden ser aprovechadas por diferentes especies de fauna.

Específicamente el área de estudio cuenta con un total de 334 parches donde el barrio La Sebastiana cuenta con la menor cantidad (16); esta situación puede estar asociada a la baja representatividad de área que presenta este barrio dentro del área de estudio debido a su ubicación, pues al tomar como unidad de análisis la microcuenca no se consideró que el área a nivel de barrio alrededor de la desembocadura es significativamente menor, que la que presentan los otros barrios analizados. De estos 16 polígonos solo tres hacen parte de la tipología *Parques lineales* y cuatro hacen parte de retiros de quebradas (dos privados), los cuales se encuentran sobre la Trv 36ª Sur reodeado de infraestructura de tipo habitacional. Los nueve polígonos restantes están asociados a *vías*, son públicos y se encuentran aproximadamente a 300m lineales desde la desembocadura en la quebrada La Ayurá.

En esta zona se evidencian avances de paisajismo, jardinería, gimnasio al aire libre y sobre todo apropiación por parte de la comunidad. En general esta pequeña área presenta una buena composición de elementos verdes y un retiro de quebrada en buen estado.

Recientemente se han realizado nuevas siembras de especies como Níspero del Japón - *Eriobotrya japonica*, Cajón de fraile - *Stemmadenia litoralis*... entre otras de tipo arbustivo, que mejoraran el entorno tanto para el caminante como para la fauna asociada.

El barrio La Pradera cuenta con 239 polígonos de los cuales 109 hacen parte de la tipología de *zonas verdes públicas* y comprende un área pequeña de 0,6937 ha, en comparación con 16 polígonos que hacen parte de la tipología de zona verde asociada a *Retiro de quebrada* incorporando 2,8989 ha; de los cuales seis se encuentran en predio privado haciendo parte de urbanizaciones como San Gabriel, Gascuña y San Sebastián. El área analizada de este barrio presenta una matriz muy intervenida con construcciones de gran tamaño y muchos fragmentos pequeños y distantes evidenciando mayor heterogeneidad. En general, este barrio presenta una mayor área, número de parches y variabilidad del tamaño de parche, con respecto a su media (MPS = 296,54); esto en consecuencia con las métricas de número de parches (NumPY) = 239, coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCoV) = 370,10 y área de clase (CA) = 70, 874; las cuales son significativamente mayores que en los otros barrios analizados. La mayoría de los fragmentos grandes se encuentran sectorizados hacia los bordes de la zona de estudio, son muchos y de tamaño pequeño. En este barrio aunque se evidencia un enverdecimiento importante, también carece de la presencia zonas verdes significativas para el disfrute de la comunidad y el aprovechamiento de fauna asociada.

El barrio La Inmaculada no presenta ningún polígono de tipología de zonas verdes asociado a vías peatonales; sin embargo, se evidencia que es significativamente menos intervenido que el barrio La Pradera, porque tiene una relación de 79 polígonos en (5,1018 ha) versus 239 objetos en (6,6258 ha). En este barrio se obtuvo un índice de forma media ponderada AWMSI = 2,6, el mayor tamaño medio del parche MPS = 645,79 y la mayor desviación estándar del tamaño del parche PSSD = 1918,34 con respecto a los otros barrios analizados; por este motivo se evidencia una matriz con un área más pequeña que la que presenta el barrio La Pradera, pero con parches más grandes y mayor variabilidad (dispersión), abarcando gran porción de la zona de estudio dentro de este barrio. En general, este barrio tiene un paisaje más heterogéneo y por lo tanto mejores condiciones para la diversidad de las especies.

Con respecto al índice de forma media (MSI), más de la mitad de los fragmentos (186) presentan un valor cercano a uno, lo que da muestra del grado de intervención que presenta el área de estudio. Esto es fácilmente evidenciado al observar como los polígonos se encuentran distribuidos en una matriz con gran parte del área (particularmente el barrio La Pradera) fuertemente construida y con pocos elementos verdes. Los polígonos de gran tamaño se encuentran principalmente localizados hacia los bordes y alrededor del retiro de la quebrada La Sebastiana, presentando formas más regulares o mayor antropización. Solo tres objetos tienen valor MSI entre 6,1774 y 7,6318, representando mayor naturalización en relación con el total. En general se considera que las formas compactas facilitan la conservación de los valores naturales, las formas irregulares facilitan los intercambios con su entorno y las formas en red o laberínticas proporcionan una fácil conducción o transporte (Lee & Oh, 2012).

Debido a que el análisis del patrón de la estructura verde en el paisaje se planteó independiente de un proceso ecológico puntual, se decidió no calcular índices de contraste de borde y de hábitat interior, los cuales requieren de la perspectiva de procesos ecológicos específicos.

Al seleccionar los fragmentos y corredores, se observa que estos presentan áreas entre 1014,5 m² y 5637,5 m², valores significativamente pequeños si se considera la selección de áreas propuesta en la Tabla 2-7. Esta situación es consecuente con el hecho de que el área de análisis corresponde a área urbana carente de importantes zonas verdes; sin embargo, estos polígonos a grandes rasgos y solo considerando sus áreas pueden ser considerados como futuros parques vecinales o parques barriales; para tal caso, será importante considerar también aspectos como topografía, aceptación social, accesibilidad... entre otros.

Dentro de los fragmentos y corredores, los polígonos _995, _784, _783 y _703, se encuentran seleccionados para ambos grupos focales; esto se presenta debido a que cuentan con áreas: 5057m², 5206m², 4146m² y 5637m² respectivamente, las cuales se encuentran categorizadas dentro de potencial parque barrial (3.000m²– 10.000m²) para los humanos y como potencial *Home Range* 3000 m² para los mamíferos; sin embargo, ninguno de estos polígonos fue seleccionado como mejor opción en el ranking de alternativas, debido a que no presentan mejores valores en el conjunto de alternativas presentes en la selección.

Los polígonos M5_797 y M4_787 son presentados como la mejor alternativa de decisión según el ranking debido a que ambos presentaron un *Ideal* = 1, siendo este el valor más alto para determinar la prioridad de una alternativa. Esta selección es consecuente con el modelo establecido, pues en este se determinó que los criterios con los pesos más altos son *Área* con 40% y *Tipología Zona Verde* con 30% siendo estos determinantes para la selección de alternativas, pues ambas selecciones presentan un área grande y tipología más naturalizada. Este valor podría cambiar si los pesos no fueran distribuidos de esta manera y/o si las preferencias fueran por ejemplo inversas (mejor un área pequeña y mejor tipología más intervenida), situación que sería benéfica solo si estuviéramos pensando en espacios verdes accesibles para el grupo focal humanos, o para el caso de seleccionar otro objeto de conservación. Esta situación cambia dependiendo del enfoque que se le dé al modelo y de la opinión del equipo de expertos.

La selección del polígono final para conectar el corredor ecológico, fue determinado a partir de su característica en cuanto localización dentro de la microcuenca de análisis, pues al ser el polígono localizado inmediatamente a la desembocadura, presenta una gran importancia para conectar procesos ecosistémicos de esta microcuenca a la subcuenca La Ayurá y esta a su vez a la cuenca del río Medellín; sin embargo, otros criterios como el tamaño del parche, el tipo de cobertura u otros... pueden ser considerados para su selección.

Finalmente se obtiene un corredor multifuncional; es decir, de usos mixtos tanto para humanos como para fauna (mamíferos) asociada al entorno urbano; promoviendo un grado de conectividad suficiente para generar la proximidad de usos recreativos, paisajístico, ecológicos, culturales deportivos, de apropiación de espacio público, ... entre otros; para ambos grupos focales. Esto sin olvidar que el espacio propuesto es urbano y que un alto nivel de naturalidad, además de ser difícil de ser gestionado debido a la gran cantidad de predios privados que se presentan, también podría jugar un efecto contrario para las personas; pues por ejemplo, las zonas verdes deben presentar cierto grado de intervención para que las personas puedan considerar junto con otros aspectos, acceder a este tipo de espacios; a la vez que la fauna asociada al entorno urbano se permite “desplazamientos a través de recursos existentes en el paisaje (modificado a partir de Taylor et al., 1993)” (Vicente, 2014, p. 1).

El mejoramiento de la calidad de vida y la aceptación de este tipo de espacios entre la población, se puede lograr a partir de acciones de promoción del uso de estos, en conjunto con especies de fauna asociada, impulsando una manera diferente de dinamizar e involucrar dos tipos de grupos funcionales, pero objetivamente diferentes e indispensables dentro del paisaje urbano.

La red propuesta comprende el retiro de la quebrada La Sebastiana incluyendo el tramo entre la Trv 36ª Sur y la Trv 36 Sur, en el cual se evidencia un retiro enmallado debido a que el eje hídrico se encuentra por debajo del nivel vial y con la presencia de viviendas próximas a este borde; por lo tanto, este tramo presenta poca posibilidad de mejoramiento; sin embargo, en esta zona se evidencian acciones de paisajismo y recuperación de zonas verdes con especies de porte arbustivo posiblemente debido al poco espacio disponible y evidenciándose una discontinuidad en el paisaje.

Considerando todo lo anterior, se determina una amplitud del 5% para el corredor pues esta franja además de involucrar una importante representación para conectar los polígonos propuestos, no interfiere significativamente con procesos constructivos, a la vez que es una franja importante para la recuperación de espacios para la fauna asociada, el enriquecimiento florístico de espacios y para la apropiación de espacio público.

Con respecto al mapa de resistencia al desplazamiento ver Figura 4-1, este expone que gran parte de su matriz presenta una resistencia alta (valores alejados de 100), mientras que las zonas que presentan la resistencia más baja o menos costo para el desplazamiento, coinciden con las zonas de retiros de quebradas (zonas más oscuras con valores más cercanos a 100), las cuales según el Plan de Ordenamiento Territorial, presentan un carácter de riesgo y/o protección para la conservación e idealmente deben configurarse con una buena cobertura vegetal según el parágrafo 1 del Artículo 28 (M. De Envigado, 2011). Así mismo, algunas de estas zonas "ideales" para el desplazamiento de estos grupos, se encuentran dentro del uso residencial privado; y por lo tanto, se limita el uso por parte del grupo focal humanos. Este resultado es consecuente al no haber involucrado criterios de tipología de uso del suelo según su carácter público o privado dentro del modelo. Al respecto es importante destacar que los retiros, su uso y manejo deben ser gestionados por parte de la administración municipal y en este sentido, son un

buen elemento para direccionar estas acciones que impulsen la apropiación y el disfrute del espacio verde urbano por parte de las personas.

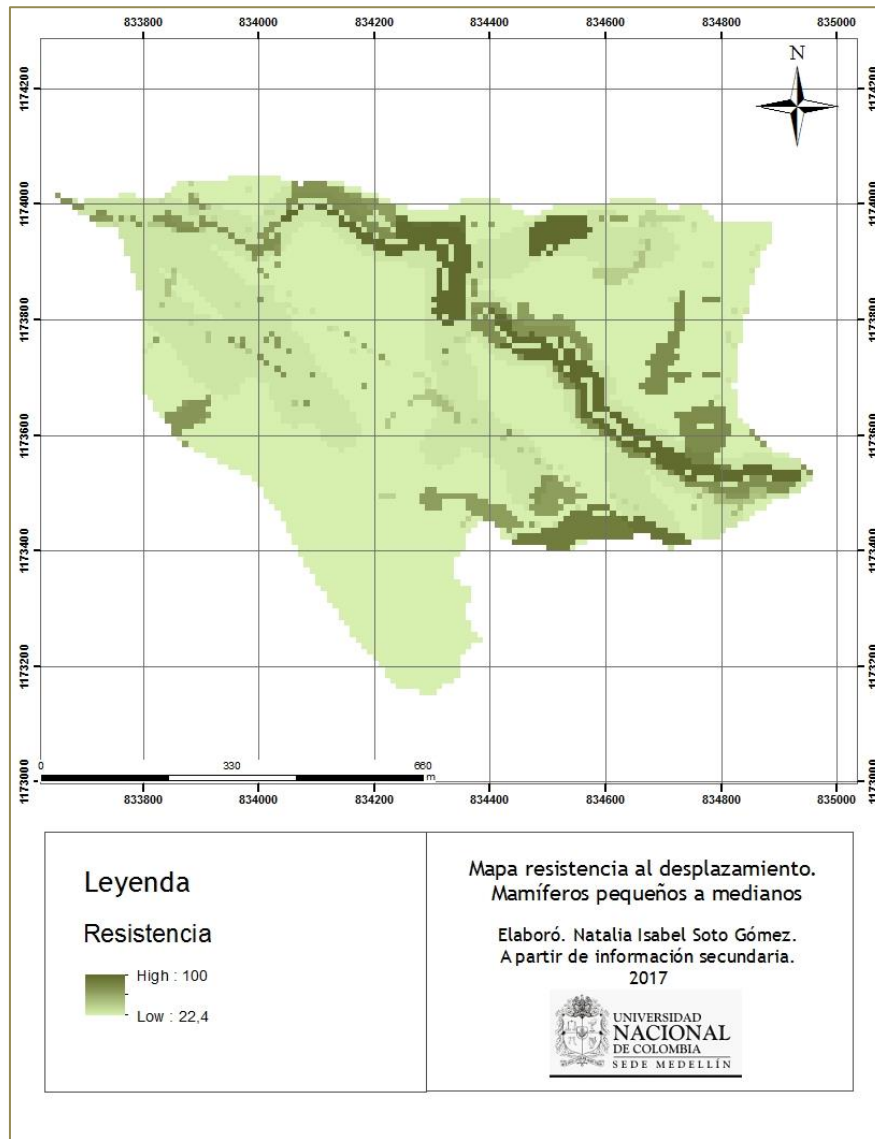


Figura 4-1. Mapa de resistencia al desplazamiento para cada pixel.

Con respecto a este resultado, se observa que efectivamente el programa formó un corredor consecuente para la conexión de los elementos que presentaran mejores características en cuanto a las tipologías *Área* y *Retiro de quebrada*, dado que estos dos tienen priorizaciones más altas (40 % y 30%) respectivamente; enfatizando que este corredor debe ser mantenido o ampliado considerando que “al igual que el tamaño de los

parques, el ancho de los corredores arbolados en las calles se relaciona positivamente con el uso de los mismos por un mayor número de especies, incluyendo taxones especialistas, y con unas menores tasas de predación de nidos (Mason et al., 2007)". (Gurrutxaga San Vicente, Mikel; Lozano Valencia, 2007, p. 81).

El corredor resultante no considera conectar parches en la zona que es evidentemente más fragmentada comprendida por el barrio La Pradera, esto debido a que precisamente esta área contiene polígonos muy pequeños y en su mayoría pertenecientes a la tipología de pastos, ambas características con priorizaciones muy bajas. En este sentido, se evidencia que este corredor, aunque considera elementos para la apropiación de ambos grupos focales porque fueron considerados elementos medibles para ambos, no considera las zonas que paisajísticamente requiere más de la conexión de espacios para el transeúnte.

- *La conectividad entorno a la quebrada La Sebastiana.*

En la diferenciación y selección de fragmentos/corredores se destaca el área considerada como óptima para el grupo focal humanos a partir del concepto de parques propuesto, vislumbrando otra manera de darle enfoque al tema de la conectividad en el contexto territorial urbano y aterrizado al entorno colombiano; sin embargo, también pudo haberse considerado a partir de otra directriz como el área desde el centroide de una manzana urbanizada con relación a la estructura verde más cercana u otros, que podrán ser considerados en futuros estudios.

Los corredores obtenidos en el presente estudio son el resultado de procesos metodológicos complejos. En primer lugar se considera la construcción del modelo de análisis de decisión considerando como alternativas los 27 corredores y fragmentos hallados a través del uso de métricas, se selecciona el polígono con las mejores características a partir de una secuencia lógica de priorización la cual considera algunos de los requerimientos importantes para el uso por parte de los grupos focales acá planteados y finalmente se conectan elementos verdes urbanos dentro del paisaje; sin embargo, esta herramienta también puede ser útil al considerar como alternativas de decisión opciones como: selección de lugar para realizar intervenciones de conexión dentro la microcuenca, selección de tipo de intervención a implementar en un lugar específico, selección de especies focales de análisis... entre otros.

Aunque a partir del concepto técnico de un grupo de expertos se seleccionó cuatro criterios para este análisis, el software permite que puedan ser más aunque presenta dificultad para el procesamiento de la información en la medida en que sean ingresados mayor cantidad de celdas. Los cuatro criterios seleccionados fueron considerandos a partir de la premisa de que fueran significativamente importantes para realizar la ponderación de las alternativas y que fueran lo suficientemente descriptivos de las características de cada una de las alternativas. El modelo se estableció de manera consecuente con la determinación de la red a partir de la extensión *Corridor Designer*, la cual solo permite incorporar máximo seis características para medir la resistencia. En general, este limitante obliga a que el equipo tomador de decisión, sea verazmente objetivo a la hora de seleccionar los criterios para este tipo de análisis.

En cuanto a los niveles de preferencia para la valoración de criterios en escala de 0 – 100, se destaca que el uso de esta amplia escala se debe al interés de que esta propuesta sea consecuente con los pesos de importancia que deben ser asignados al factor de hábitat en la extensión *Corridor Designer*, pues esta amplia escala es la que permite el procesamiento de datos a través de esta herramienta. Esta escala pudo ser incorporada a la herramienta Ratings del software *Super Decision*, gracias a que es flexible y permite que pueda ser utilizada la escala que se considere pertinente.

La herramienta Rating es utilizada debido a que esta considera una cuadrícula de datos, combinando el poder de la jerarquía y el proceso de comparación por pares con la capacidad de evaluar cientos o incluso miles de alternativas” (Saaty R. W., 2016). p.69), ahorrando tiempo en la realización de comparaciones, estableciendo estándares de desempeño para cada criterio y las alternativas se clasifican una por una en cada criterio. Otra herramienta frecuentemente usada es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), la cual considera una teoría de medición a través de comparaciones por parejas y se basa en los juicios de expertos para derivar escalas de prioridad. Las comparaciones se hacen usando una escala de juicios absolutos que representa, que un elemento domina otro con respecto a un atributo dado, y se recurre a una escala de valoración de 1 a 9 (Saaty, 2008, p. 83).

Se recurre al uso de la extensión *Corridor Designer* para modelar el corredor final, debido a que este tiene como propósito crear modelos de hábitat y corredores a partir de la

asignación de pesos de importancia para el factor de hábitat de 0 -100. Si bien esta escala es la que determina el funcionamiento del programa, es importante mencionar que esta amplia escala puede llevar a errores al momento en que se hace la asignación de valores. Adicionalmente, autores como (Loro, Ortega, Arce, & Geneletti, 2015, p. 152), mencionan que “la principal limitante de esta herramienta es que sólo permite el análisis de un camino en un corredor compuesto por múltiples caminos. Sólo se evalúa la trayectoria que atraviesa el centro de las secciones más amplias posibles del polígono del corredor (Jenness, Majka, et al., 2011; Jenness, Brost, & Beier, 2011)”; sin embargo, es una herramienta de fácil manejo que en este caso se adapta a los requerimientos de los objetivos acá planteados. Existen otras extensiones de ArcGis que pueden ser usadas para modelar la red de conectividad como Patch Matrix, Circuiscap, Linkage mapper, Pinchpoint mapper.

En general aunque el corredor propuesto se alinea con la quebrada La Sebastiana, es importante destacar que esta situación se presenta debido a que los criterios con mayor porcentaje de importancia son *Área* (mayor área es mejor) y *zona de verde* (retiro de quebrada es mejor). En este sentido se evidencia que el retiro de quebrada presenta muy buenas condiciones y por esta razón el corredor continúa esta misma ruta; sin embargo, esta situación evidencia la falta de estructuras verdes óptimas fuera de esta área (al interior de los barrios, fuera del retiro de la quebrada) en cuanto a área y tipología de zonas verdes; evidenciándose grados de fragmentación y la certeza de que la arborización presente no satisface la demanda de recurso por parte de ambos grupos focales según los criterios aquí evaluados; en este sentido, las zonas verdes presentes fuera del retiro de la quebrada no son óptimas.

- *La fragmentación en el área de análisis.*

En el contexto local, la zona del barrio La Pradera inmersa en el área de análisis, es evidentemente más fragmentada que los otros barrios analizados, esto considerando su gran área construida en relación con el área que alberga las áreas verdes, su MSI y su tamaño y distribución de parches. Esto muestra la necesidad de implementar acciones que integren esta área a través de elementos conectores del paisaje que permitan el paso del flujo energético a la vez que se propicie el uso de estas zonas como la conexión peatonal entre elementos urbanísticos (vías, edificaciones referentes, paraderos, retiros de quebrada ...). Sin embargo, aunque el corredor priorizado no se establece en la zona que

presenta la máxima fragmentación de la zona de estudio debido a lo anteriormente expuesto, si corresponde a la zona que requiere los mejores esfuerzos para permitir y continuar el flujo energético desde la zona rural a la urbana, uniendo procesos al entorno urbano.

Considerando que el problema de la falta de conectividad de la estructura verde al interior de las ciudades puede ser contrarrestado solo a partir del conocimiento de que en las ciudades las prioridades cambian continuamente respondiendo a la estructura de costos; es importante destacar que contribuir al restablecimiento de la conectividad no solo impulsa al mejoramiento del bienestar de la fauna asociada, también al mejoramiento de la calidad de vida de los humanos; pues la incorporación de elementos naturales y artificializados al espacio público mejoran las posibilidad de conexión impulsando en muchos casos el restablecimiento de corredores ecológicos como elementos importantes para el manejo y conservación de ecosistemas, de la existencia de estos elementos, composición y grado de conexión, depende la viabilidad de poblaciones y la riqueza de especies, permitiendo que los servicios y funciones hacia la ciudad se conserven o potencien; integrando de esta manera la estructura de costos a los objetivos de la conectividad ecológica urbana.

El manejo y gestión de los corredores ecológicos aunque frecuentemente son priorizados para la protección de cuencas hidrográficas también son una herramienta para complementar el paisaje fuera del retiro de la quebrada. Es así como la conectividad y específicamente la implementación de corredores en entornos urbanos es un tema reiterativo en diferentes países como Holanda y Suiza, que “han puesto en marcha programas de desfragmentación territorial para permeabilizar barreras que interceptan corredores ecológicos (Bekker, 2006; Trocmé, 2006)”. (Gurrutxaga et al., 2007, p. 82). En este sentido este tema merece ser detenidamente analizado a partir de una aproximación de un enfoque integrado, basado en las relaciones existentes entre la composición y estructura del paisaje; y la integridad de los procesos ecológicos que tienen lugar en el territorio; siendo este enfoque fundamental para implementar políticas de conservación en la planificación territorial. (Gurrutxaga, 2011).

5. Conclusiones y recomendaciones

- Es importante destacar que las zonas privadas que fueron involucradas dentro del modelo debido a su característica de retiro de quebrada, puedan ser consideradas dentro de los planes de manejo y gestión de la quebrada La Sebastiana, como bien del espacio público, a partir de la implementación de senderos, parques y mobiliario que pueda ser para el disfrute de las personas. Esto podrá ser considerado a partir de lo estipulado en el Artículo 58 de la Constitución política de Colombia (Republica de Colombia, 2016), con relación a los predios privados:

“La propiedad es una función social que implica obligaciones. Como tal, le es inherente una función ecológica. El Estado protegerá y promoverá las formas asociativas y solidarias de propiedad. Por motivos de utilidad pública o interés social definidos por el legislador, podrá haber expropiación mediante sentencia judicial e indemnización previa” (p.28)

- La microcuenca de la quebrada La Sebastiana en la parte alta presenta caudal bajo en gran medida debido a la presencia de varias bocatomas, en la parte media presenta deslizamientos y en la parte baja riesgo por inundación y transporte de bloques de gran tamaño (Alcaldía de Envigado, 2011); lo que hace que esta microcuenca presente características especiales que deban ser consideradas para su manejo; por lo tanto, aunque una buena porción del retiro de esta se encuentra en buen estado y en algunas partes como en el sector del barrio la Sebastiana se observa un buen paisajismo; en otros puntos como el sector de la transversal intermedia y otros puntos aguas abajo, se encuentra este retiro encerrado dentro de proyectos inmobiliarios y/o con vegetación alta haciendo esta zona inaccesible para los ciudadanos y para la fauna. Ver Figura 5-1. En este sentido, se recomienda que el retiro de esta quebrada sea priorizado dentro de

proyectos de paisajismos y recuperación de espacio público beneficiando las dinámicas propias de la quebrada, respetando sus retiros desde una perspectiva ecosistémica y territorial para la apropiación del espacio público a través de senderismo, pues esta microcuenca presenta solo 0,004 ha de áreas verdes asociado a vías peatonales. Con respecto a las barreras físicas impuestas por los predios privados (linderos), es importante considerar usar aislamientos menos rígidos y a una altura considerable por encima del suelo de tal manera que se permita el paso de fauna terrestre (mamíferos pequeños a medianos). De realizarse esta modificación, esta actividad deberá estar fuertemente acompañada de campañas de sensibilización para que las personas que viven en estos predios, reconozcan la fauna como un vecino con el que comparte el territorio.



Figura 5-1. Cerramiento de quebrada en zona de estudio. a. Parte alta sector bomba Terpel. b. Parte baja sector barrio La Sebastiana. Fuente. Registro fotográfico personal.

- Aunque para hacer el análisis de los corredores fue considerada la información de *Home Range* y distancia de conectividad de *Didelphis marsupialis* - Zarigueya, se espera que este corredor sea de utilidad para otros individuos de mamíferos pequeños a medianos también de hábitos generalistas como *Didelphis pernigra* – Chucha orejiblanca, *Sciurus granatensis* - Ardilla colorada, *Sciurus sp* - Ardilla andina ... entre otros; que puedan compartir este tipo de espacio con los humanos, considerando previamente el tema educativo.

- Según la (Alcaldía de Envigado, 2011), los tres barrios que hacen parte del AID, son propuestos para la implementación de tratamiento de Consolidación Nivel 3 (CN3) – Generación (código del polígono: CON3-18, CON3- 35: Uribe Ángel – La Sebastiana, La Inmaculada y La Pradera); debido a que presentan déficit crítico de infraestructura, equipamientos y espacio público de acuerdo a los índices definidos por la norma urbanística. Esta información es consecuente con la encontrada en este estudio, pues el barrio La Sebastiana solo cuenta con 0,0262 ha en parques lineales, mientras que en los barrios La Inmaculada y La Pradera no se evidencia presencia de este tipo de áreas, aun siendo estos dos barrios significativamente más grandes que el barrio La Sebastiana dentro de este estudio; por lo tanto, se recomienda priorizar el retiro de esta quebrada de estos barrios, dentro de los programas de consolidación propuestos por el POT.
- Con respecto al criterio – pendiente, se consideró que solo es determinante para los humanos debido a que un aumento del porcentaje de esta, si es un limitante para el uso de este grupo focal; sin embargo, es importante considerar que no solo la pendiente es un determinante del uso por las personas de un espacio público, en este sentido vale la pena considerar en futuros estudios, la pendiente dentro criterios de accesibilidad, donde además de esta, se consideren elementos sociales los cuales son elementales en la apropiación de este tipo de espacios.
- Promover el uso del retiro de la quebrada La Sebastiana a partir de equipamiento, senderismo y paisajismo para la gente, a la vez que se integren pasos de fauna, siembra de especies para percha y alimentación... entre otros, que incentiven la llegada de fauna asociada al entorno urbano.
- Unos de los problemas que pueden surgir en la implementación de un corredor multifuncional, es el temor que pueden presentar las personas al concebir la idea de compartir este tipo de espacios con fauna asociada al entorno urbano; sin embargo, este no debe ser un limitante, y por el contrario debe fortalecer la gestión desde la administración para que desde programas de educación ambiental, se pueda hacer el reconocimiento de este tipo de especies de fauna y puedan ser integrados ambos elementos al diseño del corredor verde del territorio.

- Es importante mencionar que el uso de estas métricas responde al criterio de cada evaluador, sin embargo; en su lugar, otras pueden ser usadas según la consideración de aspectos como suelo urbano o rural, tipo y cercanía de coberturas ... entre otros.
- Para el enriquecimiento de la red, es importante considerar hacer mezcla de diferentes especies que respondan a diferentes estratos, arquitectura y funcionalidad para que puedan ser del uso de fauna asociada y de personas, en este sentido, es importante considerar usar especies de copas aparasolada, que provean de semillas no tóxicas, perchas, lugar de anidamiento... así como la adecuación de espacio con mobiliario para que puedan beneficiarse ambos grupos focales
- Es necesario integrar en la toma de decisiones criterios de prevención y corrección de las transformaciones del paisaje que causan fragmentación de hábitats; integrando tanto políticas horizontales territorial y ambiental, como políticas verticales sectoriales con incidencia territorial (urbanística, transporte, agrícola, forestal, hidrológica, etc.); y por ende el trabajo interdisciplinar y de investigación para enfrentar los desafíos del ordenamiento territorial.
- Los planificadores y los responsables de toma de decisiones deben promover la recreación al aire libre, a la vez que deben enfrentar las presiones del desarrollo urbano; en esta medida, dependerá de las acciones adecuadas en cuanto a la accesibilidad y a apropiación a estos espacios, por ejemplo, mediante la obtención de nuevos accesos y destacando las entradas existentes o la eliminación de barreras.
- Debido a que el software calcula el corredor por donde haya parches cercanos y por lo tanto en las zonas con ausencia de estos, ningún programa puede diseñar un corredor; se recomienda para el sector del barrio La Pradera acá analizado como el sector con la mayor fragmentación; generar o mejorar zonas verdes o parches de vegetación para que posteriormente se puedan conectar al corredor de la quebrada la Sebastiana. Puntualmente se sugiere generar un fragmento con polígonos alrededor de la quebrada, en el sector sobre la Transversal intermedia con salida hacia la Cll 36D Sur, contiguo a la estación de servicio de Terpel, así mismo, en el resto de la zona aunque se evidencia especies arbóreas como *Pithecellobium dulce*, *Archontosphenix cunninghan*, *Schinus*

molle ... entre otras, y nuevas siembras de especie nativas en el paisajismo del proyecto ampliación de la calle 37 Sur Loma El Escobero; también se evidencia muy poco espacio para ampliación de zonas verdes ya establecidas.. cerrando las posibilidades para crear fragmentos que posteriormente puedan conectarse.

Bibliografía

- Adriaensen, F., Chardon, J. P., Blust, G. De, Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., & Matthysen, E. (2003). The application of “least-cost ” modelling as a functional landscape model, 64, 233–247. [http://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00242-6](http://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00242-6)
- A. R., B. D., & M. M. (2010). Geospatial Modelling for Identification of Potential Ecological Corridors in Orissa. (I. S. Sensing., Ed.) *Springer.* , 387-399.
- Alcaldía de Envigado. (2006). *Formulacion del plan de ordenación y manejo de la subcuenca La Ayurá*. Envigado: Secretaria de Medio Ambiente.
- Alcaldía de Envigado. (2011). *POT-Plan de Ordenamiento Territorial Acuerdo 010 de 2011 -2023*. Envigado.
- Alcaldia de Envigado. (2015). *Formulacion del Plan Maestro de Zonas Públicas Verdes Urbanas del Municipio de Envigado, Incluyendo Caracterización del Componente Arbóreo*. Envigado: Universidad Nacional de Colombia.
- Alcaldia de Envigado. (2015). *Sistema Local de Áreas Protegidas de Envigado*. Envigado: Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario.
- Alcaldía de Envigado. (2016). *Plan de Desarrollo. Vivir Mejor un Compromiso con Envigado 2016-2019*. Envigado. Retrieved Noviembre 2016
- Alcaldia de Envigado. (2017). *Requerimientos Proyecto "Intercambio vial en el cruce de la transversal intermedia con la Loma del Chocho*. Secretaría de Obras Públicas. Envigado: Secretaría de Obras Públicas.
- Alcaldía de Medellín. (2007). *Decreto municipal N° 409 de 2007*. Medellín.
- Alcaldía de Medellín. (2011). *Bio 2030 Plan Director Medellín, Valle de Aburrá*. Medellín: Concepción.
- Alcaldía de Medellín. (2014, Diciembre 17). Acuerdo 48 de 2014. Revisión y ajuste de largo plazo del POT del Municipio de Medellín. Medellín, Colombia.
- AMVA;Corporación Autonoma Regional del Rio Nare Cornare. (2007). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá*.

- Area Metropolitana del Valle de Aburrá. (2006). *Plan Maestro de espacios verdes urbanos de la región metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín: Area Metropolitana.
- Area Metropolitana del Valle de Aburrá. (2015). *Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá*. Medellín: Area Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017, 06 01). *Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Retrieved from http://www.metropol.gov.co/mamiferos/especies/OrdenDidelphimorphia/FamiliaDidelphidae/Didelphismarsupialis/Didelphis_marsupialis.pdf
- August, P., Iverson, L., & Nugranad, J. (s.f.). Human Conversion of Terrestrial Habitats. In K. J. Gutzwiller, *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation* (pp. 198-224). Springer.
- Bettini, V. (1998). *Elementos de ecología urbana*. Madrid: Trotta.
- Borja, J., & Muxí, Z. (2000). *El espacio público, ciudad y ciudadanía*. Barcelona.
- Clergeau, P., Mennechez, G., & Falardeau, G. (1998). Bird abundance and diversity along urban rural gradient: A comparative study between two cities on different continents. *Condor*, 413-425.
- Congreso de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño Corponariño & World Wildlife Fund - Colombia. (2016). *Plan Territorial de Adaptación Climática del Departamento de Nariño*. Cali.
- Creative Decisions Foundation. (2016). Superdecision. Version 2.6.0 - RC1.
- Creative Decisions Foundation. . (2017, mayo 24). *Superdecision*. Retrieved from <https://superdecisions.com/method/>
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2016, octubre 4). *Geportal DANE*. Retrieved from <https://geoportal.dane.gov.co/v2/?page=elementoMapaDane>
- de Andalucía, J. (2011). Retrieved from http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/integra_territorial/integ2.pdf

- de Groot, R. (2006). Function -analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable; multi-functional landscape. *Landscape and Urban Planning*, 75, 175-186.
- Di Giulio, M., Holderegger, R., & Tobias, S. (2009). Effects of habitat and landscape fragmentation on humans and biodiversity in. *Elsevier*, 2959-2968.
- Environmental Systems Research Institute - ESRI. (2012). Arcgis 10.1. Redlands, CA.
- ExpressionEngine. (2007). *CorridorDesign*. Retrieved febrero 27, 2017, from http://corridordesign.org/designing_corridors/corridor_modeling/cost_distance
- Forman, R. T. (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape ecology*, 10(3), 133-142.
- Forman, R., & Gordon, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York: Wiley.
- Gurrutxaga, S. (2011). *La gestion de la conectividad ecológica del territorio en España: Iniciativas y retos*. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/259532351_La_gestin_de_la_conectivida_d_ecolgica_del_territorio_en_Espaa_Iniciativas_y_retos/file/e0b4952c69c53dec62.pdf.
- Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad: Planificación urbana y procesos*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.
- LaPoint, S., Balkenhol, N., Hale, J., Sadler, J., & Van der Ree, R. (2015). Ecology of Organisms In Urban Environments. Ecological connectivity research in urban areas. *Functional Ecology*, 29, 868-878. doi:10.1111/1365-2435.12489
- Lee, D., & Oh, K. (2012, January 7). A Landscape Ecological Management System for Sustainable. (APCBEE, Ed.) *Elsevier*, 375-380.
- López Vargas, A. (2014). *El papel de los "Ecotonos Urbanos" en la Planificación de los Coreadores Ecológicos de Ronda. Caso de Estudio Rio Fucha Bogotá D.C.* Bogotá: Pontifica Univesidad Javeriana. Facultad de Arquitectura y Diseño. Maestrpia en Planeacion Urbana y Regional. Retrieved Diciembre 2016
- Machtans, C., Villard, M., & Hannon, S. (1996). Use of riparia buffer strips as movement corridors by forest birds. *Conservation Biology*, 10, 1366-1379.
- Margalef, R. (1998). *Ecología* (9a ed.). Barcelona, España: Omega S.A.
- Martínez de Toda, S. S., González, Á., & Rosselló, R. E. (2011). Evaluación de los cambios en la conectividad de los boques: El índice del Área Convexa Equivalente y su aplicación a los bosques de Castilla y León. *Montes*, 15-21.

- McHugh, N., & Thompson, S. (2011). A rapid ecological network assessment tool and its use in locating habitat extension areas in a changing landscape. *Journal for Nature Conservation*, 236.
- Mena, C., Ormazábal, Y., Morales, Y., Santelices, R., & Gajardo, J. (2011). Índice de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediant fotointerpretación y SIG. *Ciencia Florestal*, 21(3), 521-531.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá: IDEAM.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Republica de Colombia. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistemicos (PNGIBSE)*. Bogota: Instituto Humboldt.
- Ministerio de Salud. (1985). Resolución No 14 861 del 4 de octubre de 1985.
- Naciones Unidas. (2017). *Naciones Unidas*. Retrieved Marzo 22, 2017, from <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities>
- Niamela, J. (2014). Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions. *Elsevier*, 298-303.
- P. da Cunha, J. M., & Rodríguez Vignoli, J. (2009). Crecimiento urbano y la movilidad en America Latina. (redalyc.org, Ed.) *Revista Latinoamericana de Población*, 3(4-5), 27-64.
- Phillips B., J. F., & Navarrete E., D. A. (2009). *Análisis de Fragmentación y Conectividad*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- Rempel, S., Kaukinen, D., & Carr, A. (2012). Patch Analyst and Patch Grid. (O. M. Research., Ed.) Thunder Bay, Ontario.
- Republica de Colombia. (1989, enero 11). Ley 9 de 1989. Bogotá, Colombia.
- Republica de Colombia. (2016). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991. Actualizada con los Actos Legislativos a 2016*. Bogotá.
- Rich, A., Dobkin, D., & Niles, L. (1994). Defining Forest Fragmentation by Corridor Width: The Influence of Narrow Forest-Dividing Corridors on Forest-Nesting Birds in Southern New Jersey. *Conservation Biology*, 8(4), 1109-1121.
- Rincón, A. (2005). *Territorio e inclusión en Medellín (POT): ¿Ciudadanía o mercado?. Programa hablemos de Medellín*. Medellín.

- Rodriguez Soto, C., Vilchis Monroy, O., & Zarco Gonzalez, M. M. (2013). Corridors for jaguar (*Panthera onca*) in Mexico: Conservation strategies. *Nature Conservation*, 21, 438-443.
- Saaty, R. W. (2016). *Decision Making in Complex Enviroments*.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Elsevier*, 234-281.
- Sanabria Artunduaga, T. H. (2012). La aplicación de la ecología del paisaje al espacio público de las ciudades Colombianas. *Designa*, 1(1), 121-149. Retrieved Abril 2017
- Stiglitz, J. (2014). World Urban Forum. Medellín, Colombia.
- Urbina-C, J. N. (2010). Conectividad ecológica y flujo de servicios ecosistémicos en interfaces urbano - rurales. (s. B. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia, Ed.) *Jueves de la Biodiversidad*, 1.
- Vicente, M. G. S. (2014). No Title No Title. *Revista Internacional Ciencia Y Tecnología de La Información Geográfica*, (1), 1–5. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Vilà S., J., Varga L., D., Llausàs P., A., & Ribas P., A. (2006). Conceptes i mètodes fonamentals en ecologia del paisatge («landscape ecology»): una interpretació des de la geografia. *Documents D'anàlisi Geogràfica*, (48), 151–166. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2328164&info=resumen&idioma=EN>
- Vimal, R., Mathevet, R., & Thompson, J. D. (2012). The changing landscape of ecological networks. *Journal for Nature Conservation*, 20(1), 49–55. <http://doi.org/10.1016/j.jnc.2011.08.001>
- Yu, D., Xun, B., Shi, P., Shao, H., & Liu, Y. (2012). Ecological restoration planning based on connectivity in an urban area. *Ecological Engineering*, 46, 24–33. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.033>