

Redes ecológicas en la estructura urbana de la ciudad de Medellín (Colombia)

ANA MARÍA MONSALVE CUARTAS ¹
La Serena (Chile), octubre de 2009.

Resumen: Se identificaron y determinaron características de algunos espacios verdes de la ciudad de Medellín y su perspectiva para configurar redes ecológicas urbanas, bajo los principios de la ecología del paisaje. Con base en cartografía digital y fotografías aéreas, se identificaron mediante sistemas de información geográfica los espacios verdes mayores o iguales a 400 m², los cuales se cualificaron en fragmentos y corredores; posteriormente en fragmentos-nodos, donde en general existen las condiciones para el hábitat y refugio de distintas especies de fauna y flora; y enlaces, corredores que permiten la conectividad entre los nodos. Mediante la evaluación de atributos espaciales, se identificaron y evaluaron potenciales redes ecológicas locales, las cuales constituyen una herramienta de planeación que ayuda a implementar una trama de espacios con suelos destinados a la recuperación del soporte natural, al funcionamiento ecológico y a la conexión del paisaje urbano con el paisaje rural.

Introducción

En la planificación y desarrollo de las ciudades colombianas se identifica una deficiencia en la cantidad, calidad y conectividad de los espacios verdes urbanos lo que limita el cumplimiento adecuado de las funciones de la vegetación en términos ecológicos, ambientales y recreativos. Esto genera un creciente proceso de fragmentación del paisaje urbano con la transformación y disminución del hábitat natural y la alteración e interrupción del flujo de energía y de información genética, alterando a su vez las funciones ecológicas y afectando a la presencia y a la supervivencia de muchas especies características de los ecosistemas madres de los que formaban parte los fragmentos.

La alteración de las funciones ecológicas están relacionadas fundamentalmente con la modificación del ciclo hidrológico, los cambios en el balance energético, el cambio climático, la artificialización del paisaje, la disminución de especies de flora y fauna nativa y, por ende, la disminución de la biodiversidad endémica del lugar y la pérdida del patrimonio natural y del potencial de bienes y servicios ambientales que estas zonas pueden ofrecer para incrementar la calidad de vida de los urbanitas.

Para abordar esta problemática se requiere reconocer que estos espacios tienen la potencialidad de hábitat para muchas especies de flora y fauna, proporcionan el enriquecimiento del paisaje y de la calidad de vida urbana y ofrecen oportunidades y alternativas para la educación ambiental y experiencias recreativas de carácter pasivo. Son un punto de partida en la reestructuración ecológica urbana y en la definición de planes y proyectos para la sustentabilidad ambiental.

La identificación y caracterización de las redes ecológicas urbanas en la ciudad de Medellín, bajo las premisas de la ecología del paisaje, a partir de los espacios verdes públicos y privados existentes contribuye a la conservación y recuperación de los ecosistemas con el fin de potenciar la oferta de bienes y servicios ambientales. Es un concepto clave de integración funcional, de recomposición ecológica del paisaje; esta *malla de naturaleza interconectada* permite el movimiento de energía y de especies vegetales y animales dentro de la configuración urbana construida.

Las redes son un mecanismo que fomenta una perspectiva sistémica del verde y del paisaje urbano-rural; en ellas se pueden originar la recuperación y naturalización de las áreas verdes, con la consecuente protección de la biodiversidad endémica, para contribuir a la conservación y mejoramiento de la salud pública y a incrementar la calidad de vida de los habitantes.

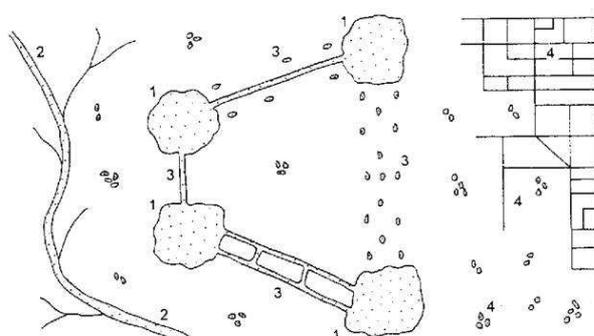
Metodología implementada

La metodología desarrollada está basada en las investigaciones sobre ecología del paisaje de RICHARD FORMAN (1995), aplicada en el contexto urbano por EDWARD COOK (2002).

La ecología del paisaje define al *paisaje* como un área heterogénea compuesta de un mosaico de ecosistemas que interactúan y que difieren estructuralmente en la distribución de especies, energía y materiales. Los elementos o constitutivos de la estructura espacial del paisaje ecológico se reconocen como fragmentos, corredores y la matriz que los contiene.

¹Ingeniera forestal, Msc. Estudiante del Magister en Arquitectura del Paisaje de la *Universidad Católica de Chile*. Dirección de trabajo: Fernando de Arguello 6743, Vitacura. Santiago de Chile. Celular +56 82866326

La red es una malla cuyos elementos son nodos y enlaces conectados y usualmente rodeados por una matriz (FORMAN, 1995) (véase la Figura 1). Como las mallas de pescar, las redes comúnmente tienen una extensión definida con o sin una clara jerarquía entre sus elementos y una dirección definida para el movimiento por sus enlaces (VÉLEZ, 2004).



1: Fragmentos nodos. 2: Corredores hídricos. 3: Corredores continuos o piedras de paso. 4: Matriz urbana que contiene la estructura de fragmentos y corredores.

FIGURA 1: Elementos constitutivos de una red ecológica urbana

Fuente: FORMAN (1995)

Los *nodos* se definen como fragmentos de mayor tamaño y de mejor composición vegetal, están localizados entre las intersecciones de los enlaces.

Los fragmentos se definen desde la ecología del paisaje como elementos estructurales prominentes y ubicuos del paisaje, de superficie no lineal, de tamaño variable, que difieren fisionómicamente de sus alrededores y que posee un grado de homogeneidad interno. Los fragmentos generalmente están inmersos en una matriz de características contrarias en cuanto a fisionomía y composición, son los más robustos indicadores biológicos de la condición de los ecosistemas ya que son significativos para grupos de especies animales que no toleran las condiciones de borde. El tamaño del fragmento es una variable importante que afecta a la biomasa, a la producción y a la disponibilidad de nutrientes por área, al igual que la composición de especies y la diversidad, característica ésta que parece estar principalmente determinada por la heterogeneidad del hábitat y el régimen del disturbio. El tamaño del fragmento afecta también a su viabilidad y valor ecológico; así, los fragmentos mayores o grandes alojan poblaciones más grandes y persistentes y una mayor diversidad de comunidades, pues a diferencia de los fragmentos pequeños, presentan una mayor área interior apta para especies que no toleran hábitats de borde (FORMAN, 1995).

Los *enlaces* son corredores que unen y dirigen el flujo o el movimiento entre los nodos. Su distribución espacial, la amplitud a lo largo de su recorrido, la rectitud y la presencia de curvas en su forma son elementos importantes para la estancia y movilidad de las especies que los usan y los ocupan. Los corredores, según FORMAN (2008), se definen como una franja angosta y alargada, de forma y dirección variables, que atraviesa una matriz y difiere de ella en su composición. Los corredores tienen la característica general de unir o separar elementos dentro de una matriz. Los corredores se analizan utilizando los siguientes atributos estructurales: tamaño, relación interior/externo, amplitud, longitud y grado de naturalidad.

El contexto de la matriz y la naturalidad de fragmentos está directamente relacionado con la clase y grado de disturbancia: el contexto o los factores externos que ejercen influencia en el fragmento pueden hacer que este sea más o menos viable ecológicamente al simplificar su estructura y composición interna. La naturalidad se entiende esencialmente como una función de la ausencia de impacto humano. Entre los indicadores del impacto humano se incluye la presencia de especies exóticas, la compactación o cobertura del suelo con sustancias impermeabilizantes, la alteración de la estructura vertical y el déficit de especies nativas (COOK, 2002). Como contexto del fragmento se analizan: el grado de aislamiento, su accesibilidad y su composición vegetal.

La *matriz* se define como una gran masa homogénea. Es el elemento que conforma el paisaje más extenso y conectado, sus bordes son generalmente cóncavos y encierra los otros elementos del paisaje como los fragmentos y corredores. Se le considera el hábitat de la especie dominante en el paisaje; sus características hacen que ejerza el mayor grado de control en la dinámica del paisaje (FORMAN, 1995).

Identificación y evaluación de fragmentos y corredores

Se fotointerpretaron los espacios verdes urbanos y sus coberturas vegetales (arboladas y pastos) más predominantes en fotografías aéreas a escala menor a 1:10.000. Con su digitalización por medio de sistemas de información geográfica (SIG), se seleccionaron aquellas superficies mayores de 400 m² (se considera esta área la mínima requerida para que el promedio de especies de aves que pueden vivir en la ciudad puedan tener un hábitat adecuado según sus necesidades). Se calculó de cada espacio su área y perímetro correspondiente para la aplicación del índice de forma. Los espacios verdes con un índice de forma mayor de 1,5 se clasificaron como corredores y los menores de 1,5 como fragmentos.

$$D = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde,

D es el índice de forma; relación del perímetro y el área del elemento.

P es el perímetro.

A es el área.

Para los fragmentos se evaluó el número de vecinos más próximos con sus respectivas distancias, y el índice de aislamiento, con la siguiente fórmula:

$$\mathcal{R}_i = \frac{1}{n} \cdot \sum d_{ij}$$

Donde,

R_i es el índice de aislamiento del fragmento.

n es el número de fragmentos vecinos considerados.

d_{ij} es la distancia entre fragmento i y su vecino j .

Identificado el mosaico de fragmentos y corredores, se valoriza su potencial para convertirse en nodos y enlaces que estructuren una red ecológica si cumplen con:

- Mayor presencia de cobertura arbórea.
- Fragmentos con índice de aislamiento menor de 200 metros.
- Fragmentos con mayor número de vecinos.
- Fragmentos y corredores de propiedad pública y/o asociados a las corrientes hídricas presentes en el área de retiro a lado y lado del cauce.

Evaluación de atributos

Para que los nodos y enlaces funcionen como un sistema debe cumplir con unos valores mínimos en los siguientes atributos:

- **Complejidad de la red.** Es considerada como la combinación de conectividad y presencia de circuitos, se evalúa con el índice *gamma de conectividad* y el índice *alfa de circuicidad*.

- *Índice gamma de conectividad:*

$$\gamma = \frac{L}{3 \cdot V - 2}$$

Donde,

γ es el índice de conectividad gamma.

L es el número de enlaces.

V es el número de nodos.

- *Índice alfa de circuicidad.* Determina la presencia de circuitos en la red, se calcula usando la siguiente ecuación:

$$\alpha = L - V + \frac{1}{2V - 5}$$

Donde,

α es el grado de circuidad.

L es el número de enlaces.

V es el número de nodos.

- **Densidad del tejido en la red.** Se evalúa como el porcentaje de área que ocupan los nodos y enlaces que forma la red con relación al área total de la matriz que los soporta.
- **Potencialidad de la cobertura vegetal.** Se cuantifica el porcentaje de coberturas vegetales (zonas arboladas y zonas con herbáceas) presentes en cada nodo y enlace que forman la red.
- **Accesibilidad física.** Se mide de forma simple el número de conexiones físicas (que se describen como *t-links*) de los enlaces y nodos.
- **Composición interna.** Se evalúa en cada nodo y enlace el porcentaje de cobertura total, el número de estratos, la diversidad estructural, el porcentaje de cobertura nativa por estrato y los tipos de comunidades existentes atendiendo a la propuesta de ADAMS (1994)— citado por VÉLEZ (2004)—. La composición interna permite conocer la existencia de un complejo particular de vegetación que puede servir como hábitat para varias especies de fauna.

La identificación y caracterización de los espacios verdes bajo la metodología enunciada se realizó en la ciudad de Medellín (Colombia), que se encuentra sobre la Cordillera Central a una altitud de 1.400 metros sobre el nivel del mar. Medellín forma parte del área metropolitana del Valle de Aburrá, cuenta con una extensión de 380,64 kilómetros cuadrados, de los cuales 105,02 km² corresponden al suelo urbano.

El casco urbano del municipio de Medellín está constituido por seis zonas, las cuales conforman 16 comunas con un total de 271 barrios. Las comunas donde se localizaron los espacios verdes y se evaluó su potencialidad para convertirse en redes se ubican en la Figura 2.

Resultados y conclusiones

Se identificaron 1.594 fragmentos que presentan áreas entre 0,04 y 54,6 hectáreas, con una superficie promedio de 0,24 hectáreas. También se identificaron 831 corredores que poseen valores de superficie que oscilan entre 0,04 y 44,6 hectáreas, con un área promedio de 0,64 hectáreas. Los corredores por área son los elementos de mayor predominancia y por ende los más significativos en la zona de estudio (véase la Figura 3).

Las coberturas prevaletientes son los pastos manejados, lo que indica el grado bajo de habitabilidad de estos elementos para muchas especies de avifauna. Las coberturas arbóreas se encuentran localizadas en mayor medida en el perímetro urbano rural de la ciudad, factor condicionante junto con la presencia de las áreas de mayor tamaño para generar estructuras funcionales (véase la Figura 4).

Tras evaluar y analizar los atributos que se esperan de una red ecológica (véase el Cuadro 1 y el Cuadro 2), se identificaron y caracterizaron configuraciones sólo para tres redes ecológicas locales en costados periurbanos (véase la Figura 4).

CUADRO 1: Porcentaje de coberturas vegetales en cada estructura y análisis del contexto

	Herbáceas (%)	Zonas arboladas (%)	Índice de aislamiento	Accesibilidad física (T-links)
Estructura 1	13	87	197	6
Estructura 2	2	98	157	5
Estructura 3	51	49	207	5

Como se observa en el Cuadro 1 y el Cuadro 2, la estructuras identificadas poseen valores mínimos de los atributos que permiten a nivel espacial las funciones ambientales y ecológicas que de ellas se



FIGURA 2: Comunas objeto de evaluación.
Fuente: POT (1998) y DAP (2005)

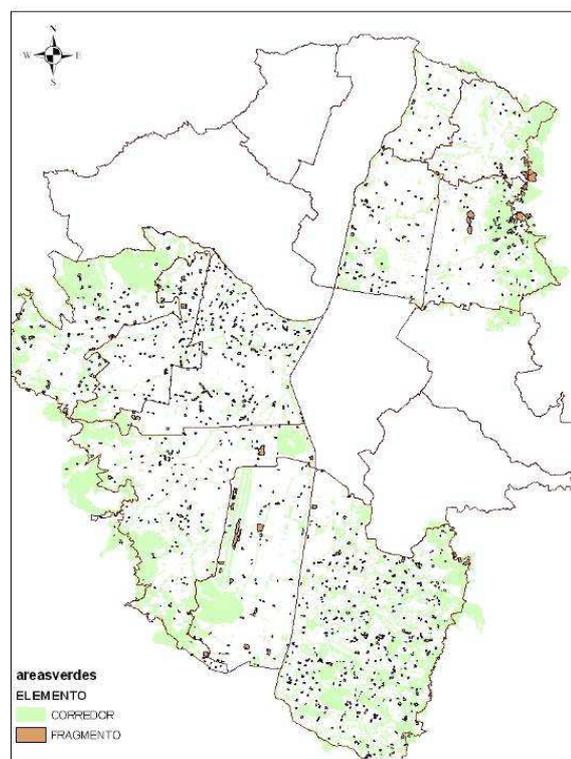


FIGURA 3: Corredores y fragmentos mayores de 400m² identificados en el área de estudio

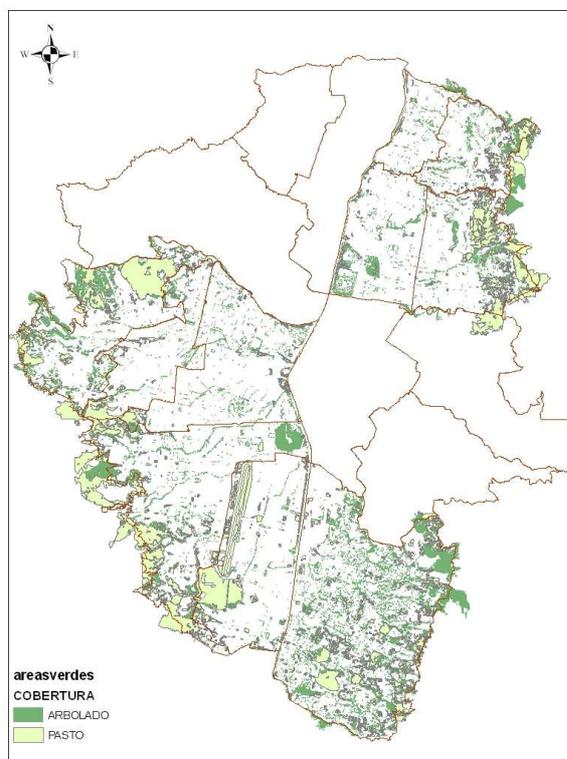


FIGURA 4: Coberturas vegetales en el área de estudio

CUADRO 2: Elementos y atributos evaluados de las estructuras identificadas

	Nodos	Enlaces actuales	Conectividad	Enlaces óptimos	Circuicidad
Estructura 1	12	18	0,60	30	0,40
Estructura 2	6	9	0,75	12	0,57
Estructura 3	15	14	0,36	39	0,00

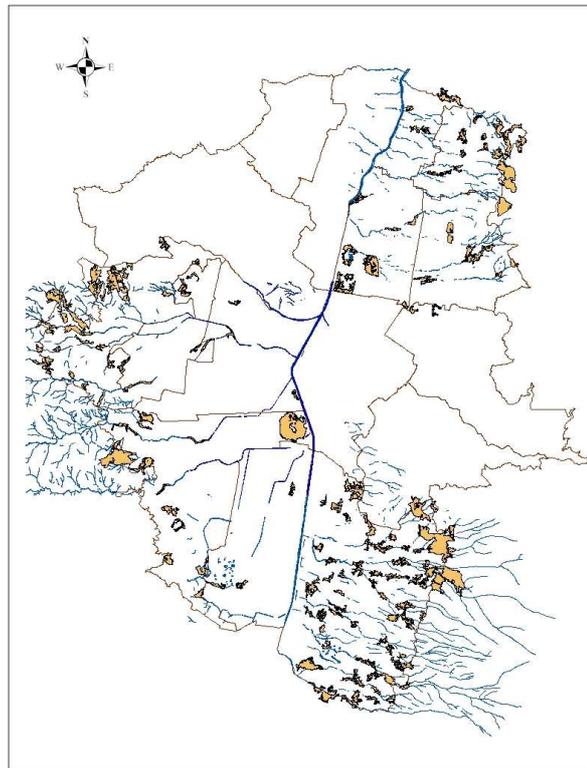


FIGURA 5: Zonas potenciales para conformar redes

esperan. Sus índices de conectividad son bajos; presentan pocos circuitos; predominan en mayor medida la cobertura vegetal arbórea con pastos manejados; es problemática su composición interna ya que prevalecen especies exóticas en densidades mayores que especies nativas (veáse el Cuadro 3); presentan un déficit de cobertura vegetal arbórea en diversos estratos, lo que limita las posibilidades para la comunidad y la supervivencia de especies de flora y fauna; y, por último, presentan igualmente alta densidad de especies introducidas como el eucalipto, urapan, laurel y ciprés, y un bajo número de especies nativas

Su baja conectividad dificulta el aprovechamiento integral del espacio público por parte de la comunidad y la migración de especies de flora y fauna (veáse la Figura 6) en busca de alimento y refugio.

CUADRO 3: Especies arbóreas dominantes en la composición vegetal de la red

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Cítricos	<i>Citrus sp</i>	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>
Palma areca	<i>Dypsis lutescens</i>	Mango	<i>Mangifera indica</i>
Búcaro	<i>Erythrina fusca</i>	Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus sp.</i>	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Falso laurel	<i>Ficus benjamina</i>	Chiminango	<i>Pithecelobium dulce</i>
Urapan	<i>Fraxinus chinensis</i>	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>
Guamo Santafereno	<i>Inga codonantha</i>	Falso pimiento	<i>Schinus terebinthifolius</i>
Pomos	<i>Syzygium jambos</i>		

Los espacios verdes urbanos de las comunas analizadas se encuentran con niveles bajos en su cantidad, calidad y conectividad, lo que limitan el cumplimiento de sus funciones ecológicas, ambientales y sociales. Por lo cual se recomienda:

- Facilitar la conexión y la conectividad de las poblaciones de flora y fauna que se encuentran en los remanentes de vegetación natural dentro del área de intervención.



FIGURA 6: Avifauna que puede estar presente en nodos y enlaces

- Desarrollar una propuesta para mejorar las características de la estructura, composición y funcionalidad de los nodos y enlaces seleccionadas que hacen parte de la red ecológica o las áreas identificadas como potenciales para configurar redes. Estas recomendaciones están encaminadas a aumentar la naturalidad de las áreas, tanto en su composición como en la estructura, principalmente en las áreas de retiros de quebrada y en los corredores viales (esta intervención parte de propiciar el proceso de sucesión ecológica, la siembra de especies nativas, y el reemplazo paulatino de las especies exóticas no aptas para la silvicultura urbana).
- Proteger los nodos y enlaces que conforman las estructuras actuales de intervenciones antrópicas, cambios de uso del suelo o actividades de carácter fuerte o activo. Se deben conservar sus áreas actuales y promocionar el aumento de su área y cobertura preferiblemente arbórea.
- Aumentar la diversidad vegetal y porcentaje de especies nativas de varios hábitos de crecimiento en nodos y enlaces.
- Asegurar la presencia de vegetación arbórea en diferentes estados de sucesión a lo ancho y largo de los corredores riparios. Ya que los ríos y riberas presentes son las opciones más importantes para mejorar la conectividad del paisaje urbano con el paisaje rural, se hace indispensable replantear el diseño y manejo tanto de sus cauces como de sus zonas de retiros y vegetación establecida, con un mayor porcentaje y calidad de vegetación nativa, y promover la recuperación de sus riberas con usos sociales de tipo pasivo y contemplativo, suelos dedicados exclusivamente a la conservación que incluyan investigación y educación ambiental.
- Diseñar protectos ecopaisajísticos de intervención en zonas verdes tanto públicas como privadas donde prevalezcan el verde naturalizado sobre lo construido.

Productos...

Los espacios con cobertura vegetal constituyen un punto clave del ordenamiento urbano de cualquier ciudad y se manifiestan como uno de los más importantes elementos del sistema de espacios públicos abiertos, contribuyendo a forjar la imagen, identidad y calidad ambiental de la ciudad. La implementación de esta metodología constituye una de las herramientas más importantes para promover la conectividad y funcionalidad del componente vegetal urbano por medio del diseño y establecimiento de redes ecológicas urbanas. La identificación, caracterización y funcionamiento de estas redes hace posible la presencia de diferentes comunidades con valores elevados de riqueza y funciones de hábitat para especies de flora y fauna silvestres que ameritan no sólo protección, sino ordenamiento y reconocimiento como integrantes fundamentales del paisaje urbano.

Con el uso de esta metodología se generó:

- La identificación y el análisis de las zonas verdes urbanas con lista de especies más comunes. Mapa de zonas verdes urbanas en escala 1:5.000.

- La clasificación de las zonas como fragmentos y corredores, por medio de su caracterización cualitativa (área, perímetro, índice de forma, índice de aislamiento, tipo de cobertura, propiedad y funcionalidad) de las zonas verdes.
- La selección de nodos y enlaces como elementos estructurantes de la red ecológica.
- La elaboración de una propuesta de configuración espacial de la red ecológica. La propuesta general deberá estar dirigida a mejorar las características de la estructura, composición y funcionalidad de las zonas verdes que constituyen la red ecológica.
- La coordinación de los objetivos de esta investigación con el *Programa de protección de ecosistemas estratégicos y áreas verdes* del Plan de Desarrollo de Medellín, que propende por la conservación y sostenibilidad de ecosistemas que brindan bienes y servicios ambientales.
- La contribución en el cumplimiento de varias de las funciones de la *Secretaría del Medio Ambiente*, del área metropolitana del Valle de Aburrá, como son las del manejo adecuado de los recursos naturales para la preservación y restauración del equilibrio ecológico, y para el uso adecuado del suelo.

Referencias bibliográficas

BETTINI, VIRGINIO

1996 *Elementi di ecologia urbana*.

Turin: Einaudi. Se cita la versión castellana de MANUEL PEINADO LORCA *Elementos de ecología urbana*. Valladolid: Trotta, Serie Medio ambiente.

BOLUND, PER; HUNHAMMAR, SVEN

1999 «Ecosystem services in urban áreas»

Ecological economics, volumen 29, pp. 293–301, disponible en <http://elsevier.com/locate/landurbplan> (consultado diciembre 2005).

COOK, EDWARD

2002 «Landscape structure indices for assesing urban ecological networks»

Landscape and Urban Planning, número 58, pp. 269–280, disponible en <http://elsevier.com/locate/landurbplan> (consultado en abril 2006).

DAP

2005 *Encuesta de Calidad de Vida*.

Medellín: Departamento administrativo de planeación, Unidad de clasificación socioeconómica y estratificación.

DI BERNARDO

2003 *Espacios verdes–espacios urbanos*.

Centro de estudios del ambiente humano, Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, Universidad Nacional de Rosario, Argentina (consultado en abril 2009).

DRAMSTAD, WENCHE E; OLSON, JAMES D.; FORMAN, RICHARD T. T.

1996 *Landscape Ecology. Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*.

Whashington D.C.: Harvard University. American Society of Landscape Architects, 80 pp.

DWYER, JOHN F.

2003 *The significance of trees and their management in built environments*.

Chicago: Usda Forest Service, North Central Forest Experimen Station.

FORMAN, RICHARD T.T.

2008 *Urban Regions. Ecology and Planning Beyond de City*.

New York: Cambridge University, 405 pp.

FORMAN, RICHARD T.T.

1995 *Land mosaics, The Ecology of Landscapes and Regions*.

Cambridge: Cambridge University Press, 620 pp.

PELLICER, FRANCISCO

2003 *El medio ambiente urbano: interfase naturaleza y cultura*.

Disponible en <http://fortunecity.es/imaginapoder/humanidades/587/geografia2.htm> (última consulta en octubre 2005).

POT

1998 *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín.*

STEINTZ, CARL

1990 «Toward a sustainable landscape with high visual preference and high ecological integrity: The loop road in Acadia National Park, U.S.A.»

Landscape and Urban Planning, volumen 19, número 3, junio, pp. 213–250.

VÉLEZ, GLADYS

2004 *La incorporación de los espacios verdes libres en la planeación urbana. El caso de la zona de El Poblado en Medellín.*

Tesis para la maestría en Planeación Urbano-Regional, Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), Facultad de Arquitectura. 115 pp.