

# *Alternativa de corredor ecológico en la zona nororiental del municipio de medellín*

## *Alternative corridors in the northeastern part of the municipality of medellín*

Recibido para evaluación: 14 de Julio de 2011  
Aceptación: 25 de Junio de 2012  
Recibido versión final: 27 de Julio de 2012

Ana María Villa Grajales<sup>1</sup>  
John Fernando Escobar<sup>2</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de establecer una alternativa de corredor ecológico de conexión estructural en las comunas 1, 2, 3 y 4 de la zona nor-oriental del municipio de Medellín, orientada a la protección del suelo verde existente y a la toma de decisiones en cuanto a la generación de nuevo suelo, utilizando las métricas del paisaje y herramientas geoinformáticas. Se utilizó un área de 400 m<sup>2</sup> como Unidad Mínima Cartografiada (UMC), encontrándose 296 ha (19,4%) de áreas verdes respecto a las 1.527 ha de área de estudio, predominando la cobertura de pasto con 95,4 ha, mientras que la zona arbolada, con un área de 26,1 ha, mostró el mayor aislamiento (99,1 m), y el rastrojo alto con 48,7 ha presentó la mayor agregación (16,4 m). Se priorizaron ocho (8) fragmentos para la conservación, seleccionados a través del Índice de Calidad del Fragmento (ICF), sumando en total 26 ha. El corredor se estableció con un ancho de 80 m, arrojando un área total de 73,2 ha, asociada, en su mayoría, a retiros de quebradas.

**Palabras claves:** corredor ecológico, comunas, métrica del paisaje, Unidad Mínima Cartografiada, UMC, fragmentos.

### ABSTRACT

This work was carried in order to establish an alternative of ecological corridor for structural connection in the districts 1, 2, 3 and 4, north-eastern area of Medellín, aimed to protect existing green land and to decision making or the generation of new soil, using landscape metrics and geoinformatics tools. An area of 400 m<sup>2</sup> was used as a Minimal Mappable Unit (UMC). There were found 296 ha (19.4%) of green areas on the 1,527 ha of study area, 95.4 with predominantly grass cover; while the wooded area, with an area of 26.1 ha, shows the highest isolation (99.1 m), tall scrub, up to 48.7 ha, had the highest aggregation (16.4 m). Priority for conservation was given to eight (8) fragments, selected through the quality index of the fragment (ICF), totaling 26 ha. The corridor was established with a width of 80 m, giving a total area of 73.2 ha, mostly associated with withdrawals from streams.

**Key Words:** ecological corridor, districts, landscape metrics, Minimal Mappable Unit, fragments.

---

1. Ingeniera Forestal  
Trabajo dirigido de investigación  
amvilla82@gmail.com

2. Ingeniero de Petróleos  
Magister - Director

Universidad De Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Medio Ambiente  
y Geoinformática  
Medellín  
2011

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional en Medellín y específicamente en la zona nor-oriental obedece, en gran medida, a la emigración de personas de bajos recursos provenientes de áreas rurales, las cuales se concentran en zonas de alta densidad, viviendas de bajo costo, o se establecen en asentamientos irregulares en las periferias (Sorensen, Barzetti, Keipi, 1998). En su mayoría, estos sitios carecen de la cobertura vegetal apropiada, lo que genera procesos de erosión y derrumbes de tierra que los exponen a peligros ambientales, con riesgo para las vidas de sus ocupantes.

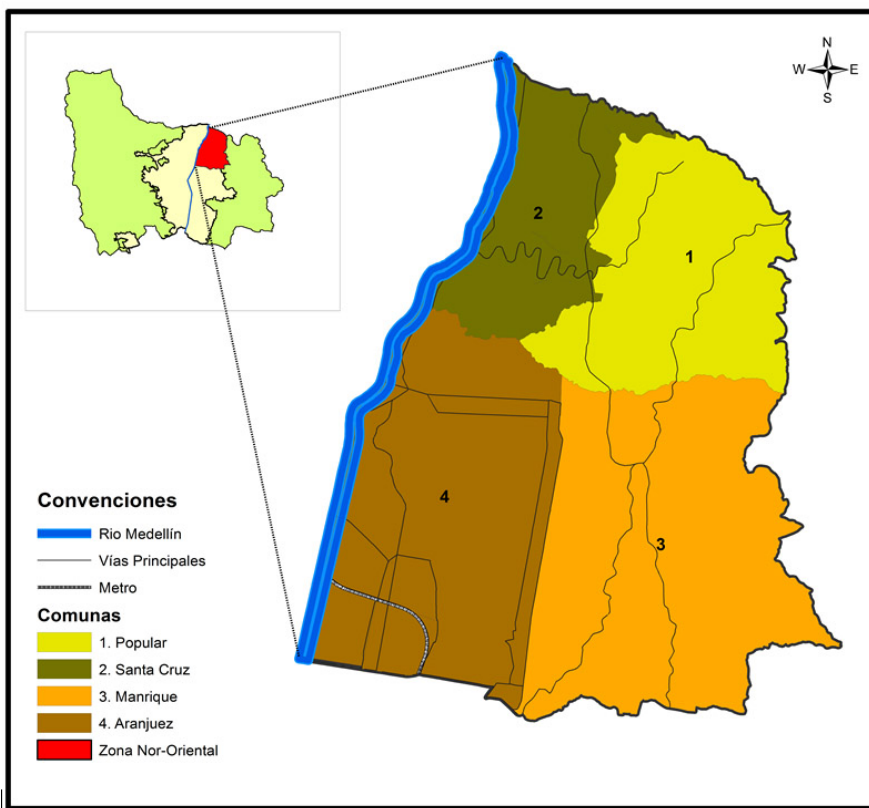
Este crecimiento poblacional, no solo en la zona nor-oriental, sino en general en la ciudad, obliga al municipio a desarrollar infraestructura y genera una competencia cada vez mayor entre las infraestructuras para movilidad, vivienda, comercio, servicios e industria, y el espacio público y el suelo verde. Esto produce un marcado proceso de des-ruralización, reduce los espacios verdes y convierte las áreas verdes en zonas urbanas altamente pobladas que, muchas veces, no cumplen la normatividad ambiental, ni las restricciones de usos del suelo, y causan serios daños en los frágiles recursos ambientales y naturales de la ciudad.

Las áreas verdes presentan diversos beneficios entre los cuales se destacan: “la regulación del equilibrio ambiental al mejorar la calidad del aire, constituyéndose en los pulmones de la ciudad, control de la erosión, regulación de la temperatura, ruidos, embellecimiento de la ciudad” (Restrepo, sin fecha), además de los beneficios sociales que brinda, “al disminuir los niveles de estrés, aumentar el bienestar personal, contribuyendo con la salud física y mental” (Galeano, 2009). Hoy, pensar en naturaleza significa pensar en entornos fuera de la ciudad; de ahí la importancia de recuperar el contacto directo de los ciudadanos con los elementos naturales de sus alrededores, en primera instancia, y paralelamente generar, conservar y gestionar las áreas verdes que hicieron de la ciudad un lugar agradable para las personas (González, 2004). Por ello, en razón de la importancia de las áreas verdes, el presente trabajo, realizado en las comunas 1, 2, 3 y 4 de la zona nor-oriental de Medellín, pretende determinar una alternativa de corredor ecológico de conexión estructural, como estrategia de conservación que permita implementar acciones que propendan tanto por la protección y recuperación del suelo verde existente, como por la generación de nuevo suelo como parte integral y esencial del espacio público. Se espera que el corredor incentive la conectividad y el fortalecimiento de estos espacios, de manera que propicie el movimiento de especies de fauna y flora dentro de la configuración urbana y que ayude a mejorar la calidad ambiental en la ciudad.

Con información de las zonas verdes públicas y con una imagen satelital Quickbird del año 2007 y una ortofoto del año 2008, se obtuvieron todas las áreas verdes mayores o iguales a 400 m<sup>2</sup> (UMC). Aplicando los métodos cuantitativos de la ecología del paisaje, se diagnosticó la situación estructural del paisaje en esta zona de la ciudad. Por medio de la aplicación del índice de calidad del fragmento (ICF), se priorizaron los fragmentos núcleos a conectar y conservar. Posteriormente, se generó el mapa de resistencia a través del álgebra de mapas, utilizando las capas de usos del suelo, proyectos, suelo de protección y vías, determinando con ellas la ruta de mínimo costo y el corredor ecológico de conexión estructural, convirtiéndose éste último en una alternativa para la creación, restauración y protección de los espacios verdes en la ciudad. De esta manera se contribuye a alcanzar la meta asumida por el municipio de Medellín, referidas al espacio público verde, de 10m<sup>2</sup>/habitante hacia el año 2020.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se enfoca en el área urbana, específicamente en la zona 1 (zona nor-oriental) de la ciudad de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2006: figura 1), la cual posee un área de 1.527,3 ha, constituida por las siguientes comunas: comuna 1 (Popular), comuna 2 (Santa Cruz), comuna 3 (Manrique) y comuna 4 (Aranjuez).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la Zona Nor-Oriental de Medellín, área de estudio (para la elaboración del mapa se contó con información suministrada por la alcaldía de Medellín).

## 2.1. Métricas del paisaje

Se desarrolló la metodología basada en los métodos cuantitativos de la ecología del paisaje, los cuales arrojan información numérica sobre la composición y la configuración del paisaje, la proporción de cada cubierta del suelo o la superficie y la forma de los elementos (Vila, s.f.). Los tres elementos que componen el paisaje son: la matriz caracterizada por ser el elemento que ocupa la mayor superficie y presenta una mayor conexión; los fragmentos caracterizados por ser superficies no lineales que se distinguen claramente por su aspecto de lo que las rodea; y los corredores que son elementos lineales caracterizados por sus dimensiones como superficies de terreno estrechas y alargadas (Irastorza, 2006).

Teniendo en cuenta que para el desarrollo del presente trabajo solo se contó con información de las zonas verdes públicas, fue necesaria la digitalización de los espacios verdes privados y la clasificación de las coberturas vegetales por medio de ortofoto del año 2008 y una imagen satelital Quickbird del año 2007, utilizando la herramienta ArcGis. La clasificación de las zonas verdes se hizo en seis categorías: Suelo desnudo, pasto, pasto arbolado, rastrojo bajo, rastrojo alto y zona arbolada.

Utilizando la escala de trabajo 1:5.000, se calculó la unidad mínima cartografiable (UMC-4x4mm), arrojando un área de 400 m<sup>2</sup> que también es considerada por la Corporación Académica Ambiental<sup>1</sup> como área mínima para que el promedio de especies de aves puedan vivir en el Área Metropolitana y sus zonas circundantes. La UMC garantiza operatividad cartográfica y una adecuada lectura del mapa (Priego, Bocco, Mendoza y Garrido, 2008).

Por medio de la extensión de análisis del paisaje (V-LATE 1.1<sup>2</sup>), el cual trabaja con formato vector y es una extensión de ArcGIS 8.x / ArcGIS 9 de acceso libre en la red, se calcularon las métricas del paisaje más comunes, indicados por Vila (s.f.)<sup>3</sup>. Este es un índice básico para la determinación de muchos otros índices, donde el número de fragmentos (NP) se define como el número de fragmentos presentes en el paisaje; el área de la clase (CA) corresponde al conjunto de fragmentos que constituyen una clase determinada; el área total del paisaje (TA) se refiere al área que ocupan el total de fragmentos, es decir a todo el territorio representado. Así mismo se estimaron los siguientes índices soportados con su correspondiente fórmula:

1. Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia. Convenio interadministrativo N°4800000616 de 2004, Secretaría del Medio Ambiente, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Planes de manejo y gestión integral de los cerros tutelares de Medellín. 2006. [http://urbanismosocialmedellin.universia.net.co/downloads/el\\_cerro/diagnostico.pdf](http://urbanismosocialmedellin.universia.net.co/downloads/el_cerro/diagnostico.pdf)

2. University of Salzburg, Z\_GIS Centre for GeoInformatics, Austria. V-LATE - Vector-based Landscape Analysis Tools Extension. x <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm>. (University of Salzburg, Z\_GIS Centre for GeoInformatics Hellbrunner Str. 35 5020 Salzburg Austria. V-LATE - Vector-based Landscape Analysis Tools Extension. <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm>).

3. Vila S. J., Op. Cit.

*Tamaño promedio del fragmento (MPS)* (Badii y Landeros, 2007): Relación entre el área ocupada por una clase y el número de fragmentos correspondientes a aquella clase. Se basa en la siguiente fórmula 1:

$$MPS = \frac{\sum_{k=1}^m A_k}{m} \quad (1)$$

Donde,  $m$  = número de fragmentos para los cuales la media se está calculando y  $A_k$  = área del fragmento  $k$ -ésimo.

*Índice de Forma (MSI)*: Permite clasificar un espacio verde en fragmento o corredor. Para un área dada, una elevada proporción indica una forma alargada o compleja y una proporción baja indica formas compactas y más simples. Cuando la forma es compacta, el índice tiende a 1 y se incrementa el valor conforme aumenta la irregularidad de los parches, la clase o el paisaje (Farina, 2000, citada por Irastorza, 2006), lo que se sustenta en la siguiente fórmula:

$$MSI = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \times A} \quad (2)$$

donde,  $P$ : Perímetro del conjunto de fragmentos y  $A$ : área del fragmento o conjunto de fragmentos.

*Dimensión Fractal (MFRACT)*: Grado de complejidad de cada fragmento a partir de la relación entre área y perímetro: cuanto mayor sea el valor, mayor es la complejidad de forma de la mancha, sustentado en la siguiente fórmula:

$$MFRACT = \frac{\text{Log}_{(P)}}{\text{Log}_{(A)}} \quad (3)$$

donde,  $P$ : Perímetro del fragmento y  $A$ : área del fragmento.

*Abundancia relativa*: Proporción de cada uno de los tipos de usos del suelo en el área de estudio. Hace referencia a que tan iguales son las proporciones de distribución de los distintos tipos de cobertura. Se calcula mediante la fórmula 4.

$$P_i = \frac{S_i}{S} \times 100 \quad (4)$$

*Índice de dominancia (D)*: Este índice varía entre 0 y 1. Cuando  $D$  es cercano a 0, los tipos de usos del suelo presentan una abundancia similar y, si se acerca a 1, la mayoría de los tipos pertenecen a un tipo de uso del suelo (Farina, 2000, citada por Irastorza, 2006). La dominancia se calcula con las siguientes fórmulas:

$$D = \frac{h_{(n)} - H'}{h_{(n)}} \quad (5)$$

donde,  $N$  es el número de categorías de usos del suelo

$$H' = \sum P_i \times h_{(P_i)} \quad (6)$$

Distancia al vecino más cercano: Distancia al fragmento de la misma clase más próximo. "NN\_min es la medida más simple de aislamiento de los parches: cuanto mayor sea esta distancia, más aislados estarán los parches y por lo tanto más fragmentado se encontrará el paisaje"<sup>4</sup>. Este índice se sustenta en la siguiente fórmula:

$$MNN_j = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_j}{N'} \quad (7)$$

## 2.2. Selección de las áreas fuente u objetivo

La identificación y selección de las áreas fuente se realizó para establecer los fragmentos núcleos a conectar, utilizando la cobertura: zona arbolada y rastrojo alto, ya que son las que presentan mejores condiciones ambientales para la avifauna. Para ello, se aplicó el índice de calidad del fragmento (ICF) indicado en la fórmula 8, la cual permite calificar la importancia de cada fragmento en el paisaje, utilizando los cuatro índices espaciales: tamaño (ÁREA\_ha), EDCON, MNN\_min y CORE (Naranjo, 2000).

$$ICF = \frac{\text{Area (ha)} \times 6 + \text{EDCON} \times 5 + \text{MNN}_{ij} \times 4 + \text{MFRAC} \times 3 + \text{CORE} \times 2 + \text{DREN\_PER} \times 1}{21} \quad (8)$$

Las variables MNN\_min, MFRAC, CORE fueron calculadas para cada fragmento por medio del Software V-Late. Para determinar el área central del fragmento (CORE), se estableció un efecto de borde de 30 m, calculado a través del promedio entre el efecto de borde sugerido en un fragmento (10 y 50 m) (Peña, Monroy, Álvarez et al, 2005). La variable DREN\_PER se estimó utilizando la fórmula 9, con la cual es posible identificar y valorar fragmentos de corredores riparios.

$$\text{DRE\_PER} = \frac{\text{Long\_Drenaje}}{\text{Perimetro}} \quad (9)$$

donde, *Long\_Drenaje*: Longitud de las quebradas o drenajes que atraviesan o pasan por el fragmento y *Perimetro*: Perímetro del fragmento.

El contraste de borde (EDCON), según Naranjo (2000), mide el grado de amenaza de un fragmento con respecto a sus vecinos. Para su cálculo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{EDCON} = \frac{\sum P_{ijk} \times d_k}{P_j} \times 100 \quad (10)$$

donde,  $d_{ij}$ : longitudes de segmentos del parche de cada tipo de uso,  $P_{ijk}$ : Peso o contraste para cada tipo de uso y  $P_j$ : Perímetro de cada fragmento.

Los pesos o contrastes se definieron entre 0 y 100% para indicar el grado de amenaza o riesgo de un fragmento de acuerdo al tipo de uso vecino. Los siguientes son los ponderadores usados para el contraste de borde identificado:

Suelo desnudo: 100	Rastrojo Bajo: 80	Área Urbana: 100
Pasto: 80	Rastrojo alto: 0	Espejo de agua: 100
Pasto arbolada: 60	Zona arbolada: 0	

Las longitudes de los segmentos se determinaron con la herramienta model builder (ArcGis 9.3) y utilizando el mapa de usos del suelo y los fragmentos núcleo. Teniendo todas las variables indicadas en la fórmula 8, se construyó un mapa para cada una de las variables en formato raster, estableciendo un tamaño de celda de 2 m, calculado mediante la siguiente fórmula 11 (Priego, Isunza, González et al, 2003).

$$TCel = 0,0004 \times E \quad (11)$$

donde, *E*: escala de trabajo 1: 5.000

4. ORTEGA M. Análisis de la estructura del paisaje en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Universidad Austral de Chile. 2007. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifo.77a/doc/fifo.77a.pdf>

Para el cálculo del ICF, cada una de las variables se estandarizó con la función Log10 (índice + 0.5) de modo que fuera posible una comparación entre ellas, y por medio del álgebra de mapas, se realizó la superposición de cada mapa utilizando la fórmula ICF. Una vez calculado el ICF, se priorizaron como fragmentos núcleos, aquellos con valores de ICF superiores a 0,87 y área superior a 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>).

### 2.3. Mapa de resistencia al desplazamiento

Para generar el mapa de resistencia, se asignó mediante un rango de valores, un valor para cada clase, para los mapas de usos del suelo, suelo protector, proyectos estratégicos y densidad de vías, llevando todas las variables a una misma escala de valoración (ver: tabla 1).

**Tabla 1.** Criterios y variables usadas para estimar el mapa de resistencia al desplazamiento de las especies de aves.

\* Acuerdo 46 de 2006, (POT) municipio de Medellín.

Criterio	Variable	Rango de la variable	Resistencia asignada
A mayor calidad de hábitat, menor dificultad al desplazamiento Por lo tanto tiene una mayor prioridad. Este mapa fue generalizado por operatividad en ocho categorías	Cobertura	Zona arbolada	1
		Rastrojo alto	1
		Pasto arbolado	3
		Rastrojo bajo	4
		Pasto	4
		Suelo desnudo	5
		Áreas Urbanas	6
Las áreas con mayor riesgo y que según la normatividad deben destinarse para protección (con cobertura adecuada); por tanto son más prioritarias para protección. Tomado del POT*	Suelo de protección	Retiros de Corrientes de Agua	1
		No Recuperable	1
La supervivencia de la vida silvestre es superior en áreas sin carreteras o con baja accesibilidad, ya que a mayor densidad vial, se genera mayor barrera a los desplazamientos de las aves. Por tanto a menor densidad vial, mayor prioridad. Generado a partir de la información de vías.	Densidad Vial (km/km <sup>2</sup> )	0-15	1
		15-30	3
		30-45	4
		45-60	5
		60-75	6
Los proyectos ya se encuentran construidos. Hay proyectos que por su construcción facilitan el desplazamiento de aves. Esto se estima de acuerdo a la cantidad de zonas verdes que presenta cada uno y a las características de la construcción.	Proyectos Estratégicos	Parque Lineal La Bermejala	1
		Parque Lineal La Herrera	1
		PUI Nororiental	4
		Colegio Antonio Derka	4
		Colegio Francisco Miranda	4
		Parque Biblioteca España	5
		Estaciones Metroplus	6
		Estaciones Metrocable	6

Posteriormente se procedió a realizar la *superposición de los mapas*; para ello, se asignaron los pesos específicos para cada mapa, utilizando el análisis multicriterio por medio del método de AHP, discriminados así: 39% para usos del suelo; 47% para suelo de protección; 10% para densidad de vías; y 4% para los proyectos estratégicos. Finalmente, con la función *weighted overlay* (ArcGis 9.3), se integraron los mapas para hallar el mapa de resistencia.



## 2.4. Corredor de conexión estructural

Se calculó la superficie de fricción mediante la herramienta ArcGis a través de Spatial Analysis por la extensión Cost-Weighted que calcula el costo-distancia de desplazamiento. Una vez calculada la superficie de fricción y determinados los fragmentos núcleo a conectar, se procedió a hallar el corredor de conexión estructural mediante la función shortest path, estableciendo las rutas de mínimo costo, para finalmente construir el corredor ecológico de conexión estructural con un ancho de 80 m, teniendo en cuenta el efecto de borde de 30 m.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Métrica del paisaje

Teniendo en cuenta la UMC, 400 m<sup>2</sup>, la zona nor-oriental de Medellín presenta 125 zonas verdes públicas (Ver: tabla 2) que alcanzan un área de 54,2 ha, lo cual representa el 18,3% de los 533 espacios verdes encontrados en el área de estudio, mostrando que en esta zona de la ciudad, la mayoría de las áreas verdes (241,8 ha) pertenece a particulares (81,7%).

Cobertura	Zonas Privadas *	Área de Zonas Privadas	Zonas Públicas**	Área de Zonas Públicas
P	98	88,5	39	6,8
Pa	90	42,1	24	9,8
Ra	73	18,4	11	7,6
Rb	86	64,8	8	1,9
Sd	16	3,0	14	4,4
Za	45	25,0	29	23,7
<b>Total</b>	<b>408</b>	<b>241,8</b>	<b>125</b>	<b>54,2</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>76,5%</b>	<b>81,7%</b>	<b>23,5%</b>	<b>18,3%</b>

**Tabla 2.** Tenencia de las áreas verdes discriminada según el tipo de cobertura para la zona de estudio.

\* Los predios o zonas verdes privadas pertenecen a particulares.  
 \*\* Los predios o zonas verdes públicas pertenecen al Municipio de Medellín.

En la zona nor-oriental, se identificaron 533 fragmentos que constituyen 296 ha, representando el 19,4% del área total objeto de estudio (1.527,3 ha), lo que habla de la escasez de espacios verdes en esta zona de la ciudad, en la cual sobresale el área urbana ocupando el 80,6% del área (Ver: tabla 3). Así, esta zona de la ciudad se caracteriza por poseer poco componente de tipo natural. A nivel de paisaje, la dimensión fractal promedio encontrada es de 1,48 (Ver: tabla 4), sugiriendo que los bordes de los fragmentos presentan en promedio un grado de complejidad medio, es decir que muestran una forma irregular y generan un efecto de borde mucho mayor, máxime si la matriz urbana en la que se encuentran los fragmentos tiene un gran contraste.

SIGLA	METRICA A NIVEL DE PAISAJE	VALOR
TA	Área Total de estudio (ha)	1527,4
ATP	Área Total del Paisaje (ha)	296,0
NP	Número de Parches (Un)	533
ZV (%)	Porcentaje de Zona Verde/AT	19,4
MPS	Tamaño promedio del parche (ha)	0,5
MSI	Índice de Forma Promedio del paisaje	1,70
MFRAC	Dimensión Fractal promedio	1,48

**Tabla 3.** Índice de la Métricas del paisaje calculados a nivel de paisaje.

NP: Número de parches

Abreviatura	Descripción	NP*	Área (ha)	Porcentaje de clase respecto al paisaje (%)
P	Pasto	137	95,4	6,2
Pa	Pasto Arbolado	114	51,9	3,4
Ra	Rastrojo Alto	84	26,1	1,7
Rb	Rastrojo Bajo	94	66,7	4,4
Sd	Suelo Desnudo	30	7,4	0,5
Za	Zona Arbolada	74	48,7	3,2
Au	Área Urbana	1	1226,8	80,3
E	Espejo de Agua	2	4,3	0,3
<b>Total</b>		<b>536</b>	<b>1527,4</b>	<b>100,0</b>

El índice de dominancia encontrado para el paisaje arroja un valor de 0,6 que muestra una mayor cercanía a 1 e indica que el pasto tiende a ser la cobertura dominante, lo cual se corrobora con el valor de abundancia relativa de 6,2%, el mayor valor respecto a todas las categorías (Ver: Figura 2d). Por ello, se considera como el tipo de zona verde predominante en el área, con un porcentaje de 32,2% equivalentes a 95,4 ha.

Se observa que la zona nor-oriental posee el 54,7% de los espacios verdes, equivalentes a 162,1 ha en pastos y rastrojo bajo, lo que indica la poca calidad de los espacios en este sector de la ciudad y muestra que gran parte de los espacios verdes en el área de estudio se encuentra en condiciones de baja habitabilidad para muchas especies de avifauna. Ambos tipos de cobertura, pasto y rastrojo bajo presentan 137 y 92 fragmentos respectivamente, lo cual sugiere una alta fragmentación, evidenciada en el índice de proximidad o aislamiento de 59,6 m para el pasto y 76,1 m para el rastrojo bajo.

Las coberturas que presentan componente arbóreo como pasto arbolado, rastrojo alto y zona arbolada son las que presentan mejores condiciones para la avifauna; sin embargo alcanzan un área total de 126,7 ha, representando solamente el 42,8% del paisaje (Ver: tabla 4, figura 2a y 2b). Por ello, se encuentra para la zona de estudio un déficit de cobertura vegetal arbórea que puede estar limitando el desplazamiento, hábitat y supervivencia de especies de fauna y flora.

La cobertura Pasto Arbolado es de 51,9 ha, representada en 114 fragmentos; no obstante, estos fragmentos presentan un índice de proximidad de 31,79 m, sugiriendo que, pese a la fragmentación, los fragmentos se encuentran más próximos. El rastrojo alto tiene 26,1 ha, lo que muestra la poca presencia de esta cobertura en la zona de estudio, representada en 84 fragmentos y un tamaño medio de fragmento de 0,3 ha (Ver: tabla 4); esto indica que está representada por pequeños fragmentos que se encuentran agregados, lo que se evidencia por el índice de proximidad o aislamiento (16,4 m). Mientras, la cobertura Zona Arbolada, pese a ser la de mayor importancia por poseer la mayor cobertura arbórea y presentar condiciones de habitabilidad para muchas especies de avifauna (además de los beneficios que genera al mejorar la calidad del ambiente urbano), posee 48,7 ha. Dicha área representa el 16,5% del área total de espacios verdes (paisaje) y presenta el mayor aislamiento, con 99,1 m entre los distintos fragmentos, pese a ser la cobertura de mayor importancia, lo cual se ilustra en la tabla 4 y en la figura 2.

El suelo desnudo es la cobertura que tiene la más pobre representación en el área de estudio con tan solo el 0,5%, y esta dada por 31 fragmentos que presentan un tamaño medio de 0,2 ha (Ver: tabla 4), mostrando una alta fragmentación para este tipo de uso.

Como lo indica Matteucci (2004), el aislamiento es una consecuencia de la fragmentación del territorio. Por tanto, a medida que la desnaturalización aumenta en el paisaje urbano, los ecosistemas naturales se fragmentan y los fragmentos se hacen cada vez más distantes entre sí, de modo que el grado de aislamiento de fragmentos del paisaje urbano es una medida del grado de conversión del paisaje y de los procesos de crecimiento, expansión urbana y en el caso particular de la zona de estudio, de los procesos de asentamientos no controlados en su mayoría. Lo anterior, unido a la reducción del tamaño de los fragmentos, disminuye las posibilidades de persistencia de muchas especies, especialmente las adaptadas a condiciones físico-bióticas de interior y las que requieren espacios grandes y con ciertas características de calidad del fragmento para su ciclo vital.

El índice de forma encontrado para cada tipo de cobertura (Ver: tabla 4) muestra valores superiores a 1,5 a excepción de la cobertura suelo desnudo que posee un índice de forma de 1,3. Con estos valores y según el criterio utilizado por Monsalve (2006) para clasificar los espacios verdes, las coberturas de pasto, pasto arbolado, rastrojo bajo, rastrojo alto y zona arbolada están en general constituidas por corredores, mientras que para el suelo desnudo, los espacios verdes se clasifican como fragmentos, mostrando con ello, la baja calidad de los espacios verdes para las diferentes coberturas, las cuales se caracterizan por presentar un mayor efecto de borde y por ello, un impacto mayor sobre el hábitat de las especies de fauna que habitan estos espacios.

Métrica	Cobertura					
	Sd	P	Pa	Rb	Ra	Za
Número de Parches (Un)	30	137	114	94	84	74
Área de la clase (ha)	7,4	95,4	51,9	66,7	26,1	48,7
Abundancia Relativa (Porcentaje de clase respecto al área de estudio (%))	0,5	6,2	3,4	4,4	1,7	3,2
Porcentaje de clase respecto ATP* (%)	2,5	32,2	17,5	22,5	8,8	16,5
Tamaño promedio del parche (ha)	0,2	0,7	0,5	0,7	0,3	0,7
Desviación estándar del tamaño del parche (ha)	0,3	3,7	0,8	2,1	0,4	1,3
Borde de fragmento promedio(m)	216,8	348,2	381,7	445,9	345,4	468,7
Índice de Forma Promedio	1,4	1,6	1,8	1,9	1,9	1,8
Dimensión Fractal promedio	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Proximidad promedio (m)	21,6	59,6	31,8	76,1	16,4	99,1

**Tabla 4.** Índice de las Métricas del paisaje calculados a nivel de clase.

D - Índice de Dominancia 0,6  
\*ATP (Área Total del Paisaje) (ha)



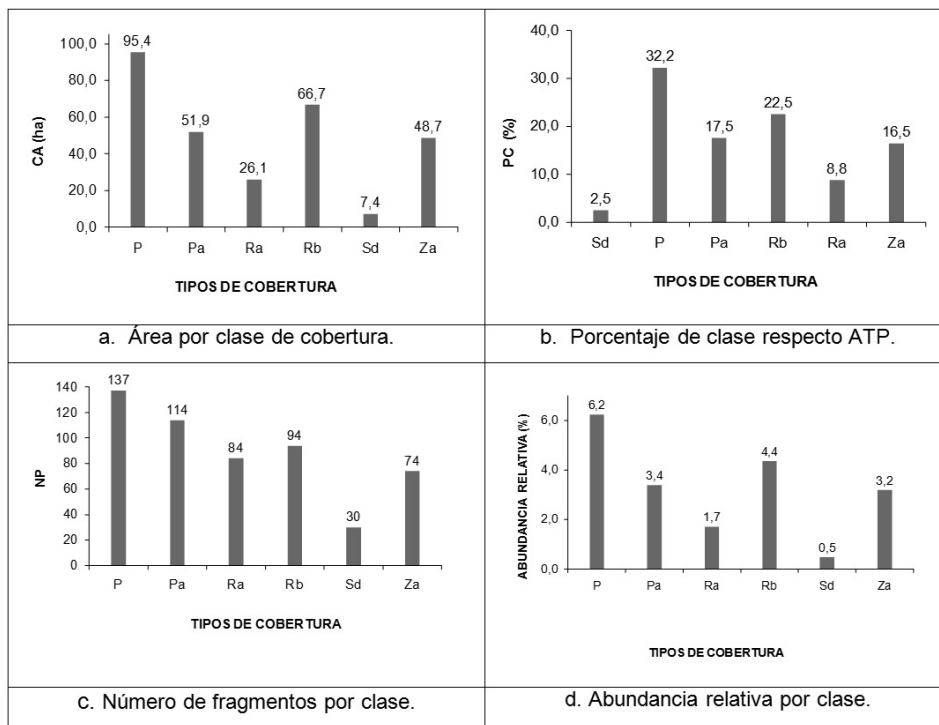


Figura 2. Representación gráfica de algunas métricas del paisaje a nivel de clase para las coberturas: suelo desnudo (Sd), pasto (P), pasto arbolado (Pa), rastrajo bajo (Rb), rastrajo alto (Ra) y zona arbolada (Za).

### 3.2. Selección de áreas fuente u objetivo

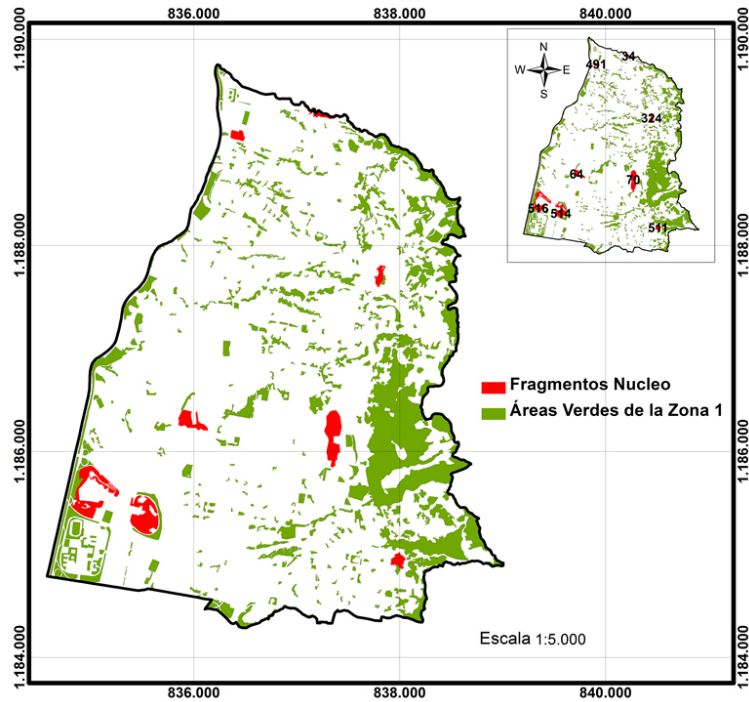
Se encontraron 158 fragmentos que presentan condiciones apropiadas para la supervivencia de las especies de avifauna de la ciudad, con un área igual o mayor de 400 m<sup>2</sup>, de los cuales 84 fragmentos corresponden a rastrajo alto y 74 a zona arbolada. Se seleccionaron ocho (8) fragmentos núcleo a conectar (Ver: tabla 5 y figura 3), los cuales representan 26 ha. Los fragmentos 514 (Área Institucional del Parque Norte), 70 y 324 tienen 6, 9, 5, 7 y 1, 1 ha respectivamente. Según la información suministrada, solo estos tres fragmentos son de uso público, los restantes son predios privados. Los fragmentos 324, 491, 514 y 516 hacen parte de los polígonos, considerados como nodos de las redes ecológicas para la zona nor-oriental, corroborando la importancia que presentan los ocho fragmentos núcleos priorizados, así como la necesidad de que se tomen las medidas necesarias para la protección, conservación y mejoramiento de estos fragmentos, de manera que estas zonas verdes priorizadas no estén sometidas a cambios de uso y a deterioro del espacio, generado por el derecho que tiene el propietario del predio.

Categoría	Barrio	Comuna	ID Fragmento	Área (ha)	ICF	Tenencia
Rastrojo Alto	Playón de Los Comuneros	2	34	1,1	0,89	Privada
Zona Arbolada	Área Institucional Jardín Botánico	4	514*	6,1	0,93	Privada
Rastrojo Alto	Granizal	1	324*	1,1	0,94	Pública
Zona Arbolada	La Frontera	2	491*	1,1	0,95	Privada
Zona Arbolada	Área Institucional Parque Norte	4	516*	6,9	1,03	Pública
Zona Arbolada	Versalles No.1	3	511	1,3	1,04	Privada
Zona Arbolada	Aranjuez	4	64	2,7	1,14	Privada
Zona Arbolada	Las Granjas	3	70	5,7	1,24	Pública

Tabla 5. Fragmentos seleccionados como áreas núcleo u objetivo para establecer la conectividad estructural de los espacios verdes en la zona 1 del municipio de Medellín.

\*: Son fragmentos que hacen parte de los polígonos de redes ecológicas en esta zona de la ciudad.

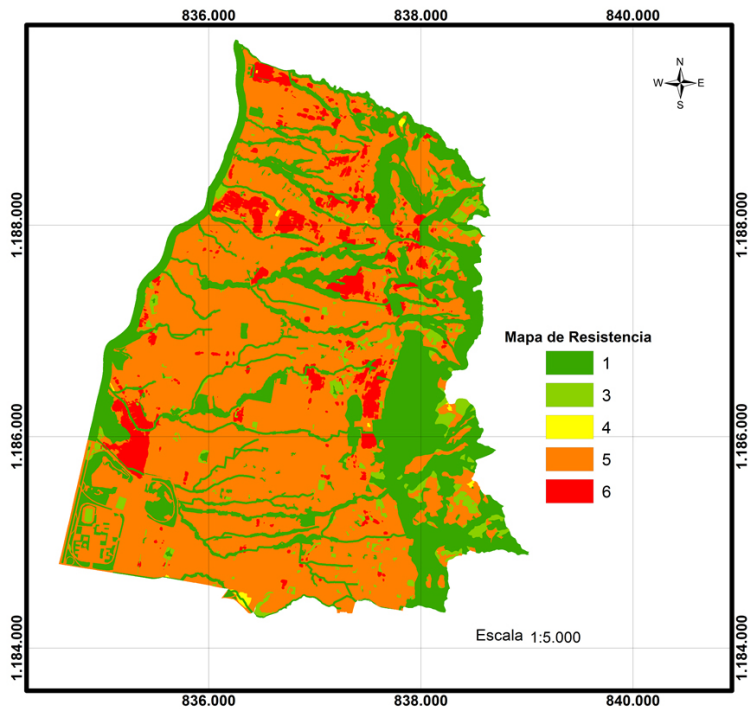
**Figura 3.** Fragmentos núcleo u objetivo para establecer la conectividad estructural de los espacios verdes en la zona 1 del municipio de Medellín.



### 3.3. Mapa de resistencia al desplazamiento

Gran parte de la matriz presenta una alta resistencia (Ver: figura 4), mientras que las áreas que no tienen resistencia o muestran una resistencia muy baja son las zonas que idealmente y según el Plan de Ordenamiento Territorial deben estar bajo cobertura protectora, siendo éstos los retiros de quebradas y las zonas de riesgo no recuperable, los cuales en la actualidad, se encuentran en su mayoría bajo uso residencial.

**Figura 4.** Mapa de resistencia al desplazamiento, establecido para la zona nor-oriental del municipio de Medellín.



### 3.4. Corredor de conexión estructural

La ruta de conectividad de los fragmentos está compuesta por un total de 7 rutas, las cuales se agruparon para formar la ruta de conectividad estructural de los fragmentos. El corredor ecológico de conexión estructural (Ver: figura 5) posee un área de 73,2 ha, constituida por cinco (5) tramos, indicados en la tabla 6. Dentro de los tramos 2, 3, 4 y 5 de la alternativa de corredor, se observan zonas verdes existentes, con un área total de 21,7 ha. Estas zonas contribuyen y disminuyen el área a transformar establecida en el corredor (73,2 ha), la cual, debe ser convertida a suelo verde. Todos estos espacios verdes dentro del corredor reducen a 51,6 ha el suelo que debe ser transformado. Sin embargo, solo algunas zonas verdes son públicas. Por ello, si se quiere construir el corredor ecológico de conexión estructural, es necesario adquirir estos predios.

Es importante resaltar también que la matriz del paisaje evaluado es una matriz urbana, de la cual hace parte el sistema vial, considerado fundamental en la ciudad desde el punto de vista de la movilidad, y contenido dentro de la alternativa de corredor. Dada la importancia de las vías y al mismo tiempo, la creación, protección y mejoramiento de las zonas verdes, es posible plantear un corredor ecológico dentro del cual las vías se conviertan en sitios de paso, a través de la vinculación del componente vegetal dentro de las vías existentes y permitiendo la creación de nuevas áreas verdes en los sitios establecidos por medio del corredor, para incrementar las zonas verdes de la zona nor-oriental.

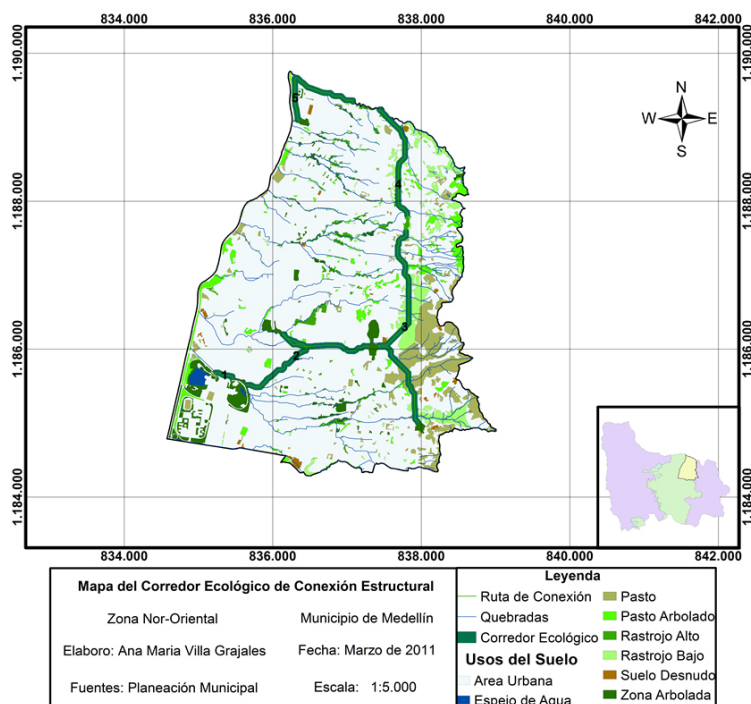


Figura 5. Corredor ecológico de conexión estructural para la zona nor-oriental de Medellín.

Tramo	Descripción	Longitud (m)	Área (ha)	Quebradas Asociadas	Fragmentos asociados	ZV* Existentes corredor	Área a transformar
1	Corredor de conexión de los fragmentos 516 y 514 (Parque norte y Jardín Botánico)	333	2,7	La Llorona.			2,1

Tabla 6. Corredor ecológico de conexión estructural especificado por tramos de conformación.

\* ZV: Zona Verde. La longitud (m) y el área (ha) hace referencia a las medidas de cada tramo del corredor ecológico de conexión estructural.

Tramo	Descripción	Longitud (m)	Área (ha)	Quebradas Asociadas	Fragmentos asociados	ZV* Existentes corredor	Área a transformar
2	Corredor de conexión de los fragmentos 514, 64 y 70	2.852	19,8	La Llorona, La Mariquita y un tramo de aproximadamente 100 m de la quebrada La Bermejala.	Tiene asociado cinco fragmentos entre ellos, pasto arbolado, rastrojo bajo y rastrojo alto, de los cuales solo uno es propiedad del municipio con un área de 0,4 ha, las restantes son de propiedad privada.	0,9	18,7
3	Corredor de conexión de los fragmentos 70, 511 y 324	3.250	25,1	El Molino o la Chorrera, La Tebaida, La Hondita, La Bermejala, El Zancudo o Cañaverala, El Aguacatillo y Caravieja.	Tiene asociado 29 fragmentos entre ellos, pasto, pasto arbolado, rastrojo bajo y suelo desnudo, de los cuales, seis pertenecen al municipio con un área de 0,9 ha, los 23 restantes son de propiedad privada.	11,2	13,9
4	Corredor de conexión del fragmento 324 y 34	1.676	13,6	La Moscú o La Rosa, Granizal y La Seca.	Tiene asociados 14 fragmentos de pasto, pasto arbolado, rastrojo alto, rastrojo bajo, y suelo desnudo de propiedad privada.	1,2	6,1
5	Corredor de conexión del fragmento 34 y 491	1.533	12,1	La Seca.	Tiene asociados siete fragmentos de pasto, pasto arbolado y zona arbolada de propiedad privada.		10,8
<b>Total</b>		<b>9.644</b>	<b>73,2</b>			<b>13,3</b>	<b>51,6</b>

#### 4. RECOMENDACIONES

Una vez confirmada la carencia de espacios verdes y de espacio público verde en esta zona de la ciudad, se recomienda propiciar la generación de nuevo espacio verde a través de la compra de predios asociados al corredor ecológico de conexión estructural (73,2 ha) de los cuales 21,7 ha ya se encuentran bajo algún tipo de cobertura, lo cual facilitaría el establecimiento del corredor. Como estos espacios están en gran medida asociados a retiros de quebradas, se posibilita la restauración de los retiros de agua, y al mismo tiempo, se pueden convertir en sitios públicos para el esparcimiento y disfrute de la población de esta zona donde hay escasez de cobertura vegetal.

Teniendo en cuenta que los fragmentos núcleos son áreas que presentan mayor importancia por poseer la mayor cobertura tipo arbórea, es importante que el municipio apropie recursos para la adquisición de los fragmentos núcleos que pertenecen a particulares, los cuales son: 64, 511 y solo 5.530 m<sup>2</sup> del fragmento 491.

Dada la fuerte presión que se ejerce hoy sobre el suelo urbano por parte de los constructores, es necesario que la administración municipal tome medidas que ayuden a mitigar, controlar y preservar las zonas verdes existentes, y al mismo tiempo que se planteen alternativas que permitan la creación de nuevo suelo verde, objetivo que puede sustentarse en los corredores ecológicos como alternativas

visibles para la generación, restauración y conservación de los espacios verdes, ya que permiten orientar el diseño del corredor y, por tanto, la definición de acciones de conservación específicas. Las trayectorias potenciales de conectividad pueden facilitar la identificación de áreas donde la restauración ecológica o el mantenimiento de las conexiones naturales existentes sean prioritarios.

## BIBLIOGRAFIA

- Badii, M. y Landeros, J. 2007. Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. <http://www.spentamexico.org/v2-n1/2%281%29%2026-38.pdf>. (Consulta realizada el 5 de diciembre de 2010).
- Alcaldía de Medellín. 2006. Medellín y su población. Documento técnico de soporte del Plan de Ordenamiento Territorial (Acuerdo 46/2006).
- Alcaldía de Medellín, 2006. Diagnostico, evaluación y seguimiento (Segunda Parte) Componente Natural. Documento técnico de soporte del Plan de Ordenamiento Territorial (Acuerdo 46/2006).
- Galeano, R, L. 2009. Evaluación de la inversión pública realizada en las áreas verdes urbanas del corredor ecológico San Lucas – Belén Rincón (Tesis de maestría). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. [http://www.minas.medellin.unal.edu.co/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=358&Itemid=285](http://www.minas.medellin.unal.edu.co/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=358&Itemid=285). (Consultado el 4 de julio de 2010).
- González, P. 2004. El Paisaje y los espacios públicos urbanos en el desarrollo de las sociedades. [http://www.mma.es/portal/secciones/formacion\\_educacion/reflexiones/2004\\_05priego.pdf](http://www.mma.es/portal/secciones/formacion_educacion/reflexiones/2004_05priego.pdf). (Consultado el 4 de Julio de 2010).
- Irastorza Vaca, P. 2006. Integración de la ecología del paisaje en la planificación territorial. Aplicación a la comunidad de Madrid. [http://oa.upm.es/468/1/PEDRO\\_IRASTORZA\\_VACA.pdf](http://oa.upm.es/468/1/PEDRO_IRASTORZA_VACA.pdf). (Consultado el 5 de julio de 2010).
- Matteucci, D. 2004. Los indicios de configuración del mosaico como herramienta para el estudio de las relaciones patrón-proceso. Memorias del Primer Seminario Argentino de Geografía Cuantitativa. <http://www.ege.fcen.uba.ar/ecoregional/Docs/teorico/Matteucci%202004%20Metricas.pdf>. (Consultado en línea el 10 de enero de 2011).
- Monsalve, C, A.M. 2006. Redes ecológicas en la estructura urbana de la ciudad de Medellín (Colombia). <http://habitat.aq.upm.es/b/n42/aa-amon.html>. (Consultado el 5 de julio de 2010).
- Naranjo, G. 2000. Uso de indicadores de calidad biótica a nivel de paisaje para la caracterización y selección de ruta de proyectos de transmisión de energía. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Ortega, M. 2007. Análisis de la estructura del paisaje en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higin. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifo.77a/doc/fifo.77a.pdf>. (Consultado el 5 de diciembre de 2010).
- Peña, J., Monroy, A., Álvarez, F., Orozco, M. 2005. Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas, diciembre, vol. 8, número 002. Universidad Nacional Autonoma de México. Pp. 93 y 94. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/432/43220804.pdf>. (Consultado el 5 de enero de 2011).
- Priesgo, A., Isunza, E., González, N., y Pérez, J. 2003. Disección vertical del relieve de México a escala 1:250 000. Instituto Nacional de Ecología. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/633/anexos.pdf>. (Consultado el 4 de diciembre de 2010).
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M. y Garrido, A. 2008. Propuesta para la generación semi-automatizada de unidades de paisajes, Fundamentos y métodos. [http://www2.ine.gob.mx/emapas/download/paisaje\\_unidades\\_paisaje.pdf](http://www2.ine.gob.mx/emapas/download/paisaje_unidades_paisaje.pdf). (Consultado el 4 de diciembre de 2010).

- Restrepo, M., sin fecha. Plan maestro de espacios públicos verdes urbanos de la región metropolitana del Valle de Aburrá. <http://www.lagaceta.com.ar/fotos2/fckeditor/File/parjap/ponencia%20restrepo.pdf> (Consultado el 4 de julio de 2010).
- Sorensen, M, Barzetti, V, Keipi, K. Y. y Williams, J., 1998. Manejo de las áreas verdes urbanas, Documento de buenas prácticas. Washington, D.C. [www.rds.org.co/aa/img.../MANEJO\\_AREAS\\_VERDES\\_URBANAS.pdf](http://www.rds.org.co/aa/img.../MANEJO_AREAS_VERDES_URBANAS.pdf). (consultado el 5 de julio de 2010).
- University of Salzburg, Z-GIS Centre for geoinformatics. V-LATE - Vector-based Landscape Analysis Tools Extension. <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm>. (Consultado en línea, el 5 de octubre de 2010).
- Vila, S. J., Varga, L. D., Pascual, L. A., Ribas, P. A. sin fecha. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. <http://ddd.uab.cat/pub/dag/02121573n48p151.pdf>. (Consultado el 5 de julio de 2010).