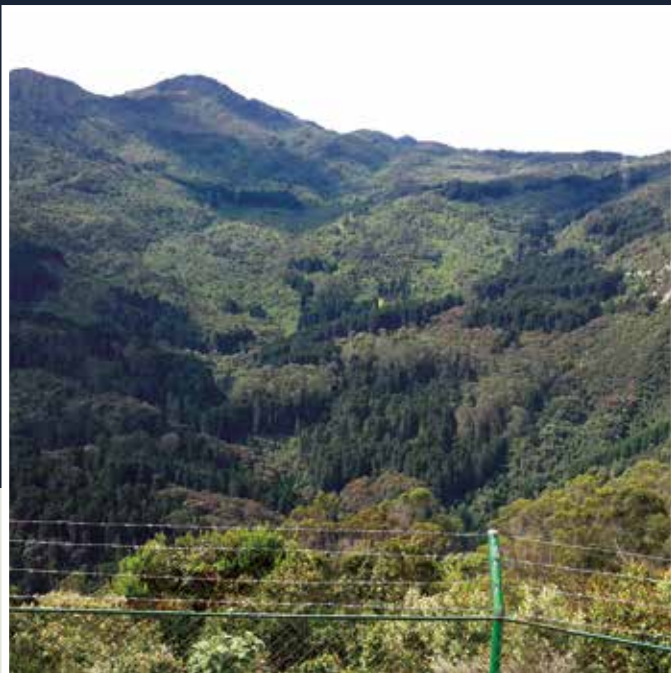
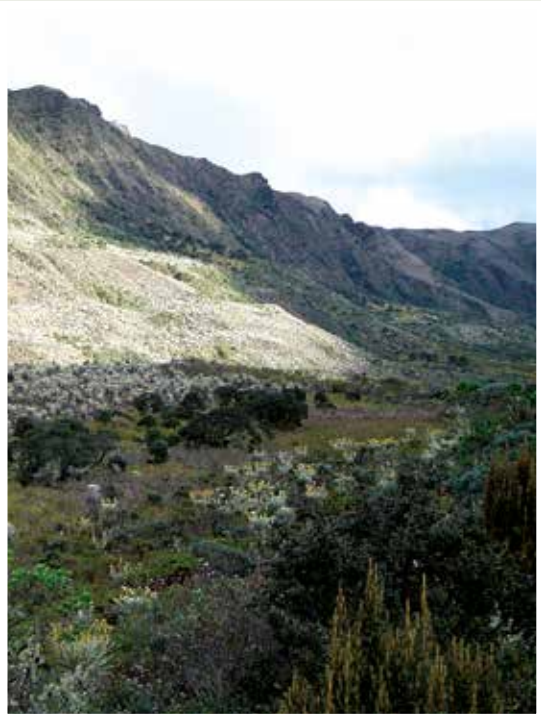


ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE DEL DISTRITO CAPITAL AÑOS 1991-2012

Paola Johanna Isaacs Cubides
Vilma Isabel Jaimes Sánchez





© Jardín Botánico José Celestino Mutis

Director

Luisz Olmedo Martínez Zamora

Subdirección Científica
Programa Conservación
de la flora asociada a la Región Capital,
una aproximación ecosistémica

Subdirector Científico

Mauricio Diazgranados

Subdirectora Educativa y Cultural

María Consuelo Noriega Toledo (E)

Subdirector Técnico Operativo

Jorge Enrique Sánchez Segura

Revisores científicos

Carolina Useche

Germán Ignacio Andrade

Nelly Rodríguez Eraso

Comité Editorial

Germán Ignacio Andrade

María Eugenia Torres

Martha Patricia Hernández

Fotografías

Vilma Jaimes Sánchez

Paola Isaacs

María Argenis Bonilla

David Zuñiga

Diseño y diagramación

Susana Rudas LL.

Paola Velásquez

Cítese como:

Isaacs Cubides, P. J. y V. I. Jaimes Sánchez. 2014. Análisis multitemporal de la estructura del paisaje del Distrito Capital, años 1991–2012. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá, D. C., 65 pp.

ISBN: 978-958-8576-16-9

Catalogación en la fuente

Biblioteca Enrique Pérez Arbeláez

Isaacs Cubides, Paola Johanna.

Análisis multitemporal de la estructura del paisaje en el Distrito Capital años 1991-2012 - Bogotá: Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2013.

65 p. : il., fot. col., mapas ; 21,5 x 28 cm.

Incluye bibliografía p. 63-65

ISBN: 978-958-8576-16-9

1. Ecología vegetal. 2. Cobertura verde.
3. Deforestación. 4. Conservación de la diversidad biológica. 5. Bogotá (Colombia).
I. Jaimes Sánchez, Vilma Isabel. II. t.

CDD21—577.27

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE DEL DISTRITO CAPITAL AÑOS 1991-2012

Paola Johanna Isaacs Cubides
Vilma Isabel Jaimes Sánchez



Jardín Botánico de Bogotá
José Celestino Mutis





CONTENIDO

Presentación	1
Agradecimientos	3
Resumen	5
Abstract	7
1 Introducción	9
2 Metodología	17
Desarrollo de mapas de cobertura	19
Métricas de composición y configuración	22
Cálculo de las tasas de deforestación	24
Cálculo de la representatividad	24
3 Resultados	27
Descripción general de las coberturas	29
Métricas de composición y configuración a nivel del paisaje	31
Métricas de composición y configuración de parches para los años evaluados	32
- Métricas de tamaño	32
- Métricas de forma	32
Evaluación por coberturas	34
Páramos	34
Áreas quemadas	37
Bosques	37
Cultivos y pastos	41
Matorrales	41
Mosaico de plantaciones y bosques	43
Cuerpos de agua	43

Subxerofítico	44
Plantaciones de pino y eucalipto	44
Cálculo de las tasas de deforestación	44
Cálculo de la representatividad	44
4 Síntesis de resultados	49
Métricas de composición y configuración	51
5 Discusión	55
Análisis de pérdida de cobertura en bosques	58
Análisis de representatividad de las coberturas	59
Anexo 1	
Zonas de pérdida de bosques entre 2010 y 2012 en Cerros Orientales y Sumapaz	63
Bibliografía	65



PRESENTACIÓN

La acción del hombre sobre los ecosistemas ha transformado el paisaje natural, desde su estado prístino hasta lo que conocemos hoy. Pocos son los espacios naturales que quedan en buen estado, y menos los que están cerca de las ciudades prestando servicios ecosistémicos fundamentales para propiciar calidad de vida a sus habitantes. Los procesos asociados a una idea de desarrollo que transforma y domestica el paisaje según las necesidades del crecimiento económico y la modernidad, han generado cambios en las coberturas vegetales en muchos casos irremediables.

Poco conocemos sobre los efectos de estas transformaciones ambientales y en tiempos donde las cifras de expansión poblacional, certeza científica sobre el cambio climático, crisis de recursos naturales y crecimiento global de las ciudades, nos alertan sobre la sostenibilidad ambiental, resulta prácticamente un imperativo incrementar el conocimiento sobre las transformaciones de los ecosistemas en el tiempo. Este tipo de estudios son muy importantes toda vez que permiten visualizar y comprender las dinámicas de los cambios y pensar los efectos de ellos, así como ahondar en las causas y consecuencias. Develando la necesidad de comprender más profundamente las relaciones entre el ecosistema y la cultura, base fundamental de las transformaciones más profundas que han vivido nuestros ecosistemas.

El Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, en su misión de generar, apropiar y usar conocimiento que facilite de la conservación del patrimonio natural del país, y en particular de la región capital, con sus áreas urbanas y rurales, ha mantenido un esfuerzo permanente para aportar a la comprensión de las dinámicas de transformación del paisaje natural de la región. En el marco de la línea de investigación en ecología del paisaje, comunidades y especies, ha desarrollado estudios tendientes a determinar los cambios en la cobertura vegetal y a propiciar la conectividad ecológica. En el 2006 se desarrolló el estudio multitemporal a escala 1:100.000 de los Cerros Orientales para el periodo de los años entre 1990 al 2000. Posteriormente se evaluó el cambio en los patrones espaciales de distribución, extensión, pérdida, fragmentación y representatividad del bosque altoandino, encontrando una disminución de los bosques altoandinos de 93 ha en el Distrito Capital durante el periodo de 2005 a 2007. La extensión del bosque altoandino en el año 2007 para el área de estudio fue de 9.209 ha, correspondiente al 7,8% del total del área de estudio. En el transcurso de 2005 a 2007 se presentó una disminución de los bosques altoandinos en el Distrito Capital, de 93 ha que corresponde a una tasa de cambio de pérdida de -0,502 (BIOSIG-UN 2011).



Hoy presentamos a la comunidad en general, a la científica, y a las diferentes instancias públicas encargadas de la planificación, gestión y conservación de los ecosistemas naturales y de la protección de la Estructura Ecológica Principal de la ciudad, un estudio sobre el análisis multitemporal de la estructura del paisaje del Distrito Capital para los años 1991, 2001 y 2010. Además se incluyen los resultados de los cambios en la estructura del paisaje observados en una actualización para el 2012.

Para los años más extremos (1991-2010) se obtuvo en total una pérdida de 0,4% de la cobertura del bosque, equivalentes a 793 ha. Luego, en un periodo de dos años, 2010 y 2012, la tasa arrojó valores de pérdida del 1,41% por las 69,45 ha que disminuyeron en los bosques de los sectores de Cerros Orientales y Sumapaz. Los periodos de tiempo evaluados dan un estimado de tasa de pérdida de bosque entre 35-39 ha/año para el Distrito Capital.

El Jardín Botánico continuará la actualización del mapa de cobertura vegetal y usos del suelo para el Distrito Capital y los estudios sobre la composición de heterogeneidad espacial y conectividad de paisajes de las áreas rurales en el contexto urbano y periurbano, así como la valoración del patrimonio florístico distrital (a escala de paisajes, ecosistemas, comunidades, poblaciones y especies). Así mismo, en el marco del Proyecto investigación y conservación de la flora y ecosistemas de la región capital como estrategia de adaptación al cambio climático adelanta el estudio de la vegetación mediante un enfoque florístico, fisionómico y estructural, con el fin de conocer sus principales atributos espaciales y dinámicos y contribuir con el establecimiento de acciones científicas que redunden en la conservación, la gestión y el manejo sustentable de los ecosistemas presentes en el Distrito Capital.

La institución comprometida en el cumplimiento de los programas del Plan de desarrollo de la Bogotá Humana, continuará con el monitoreo del comportamiento de las coberturas vegetales presentes en el Distrito, con el fin de llevar un seguimiento riguroso de su distribución, extensión y pérdida, especialmente sobre la superficie de tierras cubiertas por bosques y páramos, las cuales son prioritarias en la conservación y el refuerzo de la Estructura Ecológica Principal, además del seguimiento en la composición y función de los ecosistemas que estas coberturas vegetales albergan, y en consecuencia, a la valoración de los servicios ecosistémicos de provisión y soporte de gran importancia para la ciudad de Bogotá.

Es claro que, en buena medida, la calidad de vida de sus habitantes, depende del estado de los páramos y los Bosques andinos circundantes presentes en especial en los Cerros Orientales, en la Cuenca alta del río Tunjuelo y en el macizo de Sumapaz, los cuales son esenciales para el suministro del agua a escala regional y que además los ecosistemas naturales o seminaturales cercanos también aportan a la ciudad otros servicios menos reconocidos, como los de regulación de condiciones ambientales locales y adaptación a la variabilidad del clima, conservación de biodiversidad local así como para la oferta de espacios para la recreación, educación e investigación.

El Jardín Botánico le presenta y propone a la Ciudad este texto sobre las transformaciones del paisaje, con perspectiva que pueda ser apropiado por las diversas comunidades, y en particular sea adoptado en el diseño de las políticas públicas tendientes a garantizar la sostenibilidad ambiental del desarrollo y la calidad de vida de sus habitantes, aspecto que consideramos fundamental en el proceso necesario de adaptarse al cambio climático, como un imperativo de las ciudades modernas.

Luisz Olmedo Martínez Zamora
Director
Jardín Botánico José Celestino Mutis



AGRADECIMIENTOS

La autoras agradecemos a todas las personas que han participado de este proceso y en especial a los que colaboraron con sus aportes para obtener este trabajo.

Queremos agradecer al Biólogo Camilo Cadena por su colaboración en el procesamiento de la imagen de satélite del año 1991 y por los procesos de elaboración y ajuste de la cartografía. A los profesionales de la Línea de Caracterización de microcuencas y valoración de servicios ecosistémicos del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Olga León, Ledy Trujillo, Oscar Rojas y Andrés Ramírez, por sus aportes y comentarios en los talleres de discusión sobre la interpretación de los resultados.

A la Infraestructura Integrada de datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) y a la Secretaría Distrital de Ambiente por disponer y compartir la información geográfica del Distrito, en condiciones de un nuevo ambiente comunitario de articulación y apoyo entre entidades.

A los revisores de rigor científico Dra. Nelly Rodríguez Eraso, Dra. Carolina Useche y Dr. Germán Ignacio Andrade, cuyos comentarios y valiosos aportes permitieron mejorar el escrito y la presentación de los resultados.





RESUMEN

En el presente trabajo se realizó una evaluación de la distribución, extensión, fragmentación, tasa de deforestación y análisis de representatividad de las coberturas vegetales para el Distrito Capital de Bogotá. Se emplearon cuatro imágenes Landsat 5 de los años 1991, 2001, 2010 y 2012, en las que se realizó una clasificación mixta para obtener las coberturas presentes con base en su respuesta espectral. Con la imagen interpretada se realizaron análisis de composición y configuración de los polígonos de las coberturas, evaluando los tamaños y las formas de diez tipos de cobertura identificadas, con ayuda del programa ArcGIS 10 y la extensión Patch Analyst. La cobertura que mayor área ocupa en el Distrito es la de páramos, la cual se ve fuertemente afectada por la presencia de quemas y por la implantación de sistemas productivos, en especial hacia las zonas de la localidad de Sumapaz. En segundo y tercer lugar se encuentran las áreas urbanas y los sistemas productivos de uso agropecuario, los cuales han aumentado en tamaño y ejercen presión sobre las áreas naturales. Los bosques, en cuarto lugar de extensión, han presentado pérdidas especialmente en dos parches grandes en Sumapaz, los cuales se están fragmentando y desapareciendo como se demuestra en los

resultados de las tasas de deforestación. También se reportaron zonas de matorrales, plantaciones de pino y eucalipto, cuerpos de agua y vegetación subxerofítica en Ciudad Bolívar, y vegetación entremezclada de bosques nativos con especies exóticas en los Cerros Orientales. En general los tamaños de los parches son pequeños con formas que indican intervención y fragmentación de acuerdo con cada tipo de cobertura. En cuanto a la representatividad en el sistema de áreas protegidas, todas las coberturas presentan valores adecuados, sin embargo, en las áreas de protección ocurren actividades antrópicas que afectan su conservación, siendo este indicador insuficiente para evaluar el estado de los ecosistemas. Los resultados muestran deterioro sobre los páramos, al igual que en los bosques y en el ecosistema subxerofítico, que no solo significa pérdida de los recursos forestales o vegetación de páramo y de zonas secas, sino que implica impactos negativos en suelos, agua, diversidad biológica y clima, debido a las estrechas relaciones que existen entre las coberturas arbóreas y los demás recursos señalados y, aún más preocupante, por las estrechas relaciones de estos ecosistemas con la regulación hídrica.



ABSTRACT

In this work, the evaluation of the distribution, area, fragmentation, deforestation rate and representatively analysis of the vegetation covers for the district of Bogotá. Four images Landsat 5 corresponding to 1991, 2001, 2010 and 2012 years were used and through a mixed classification the present covers were obtained based in the spectral response. Composition analysis and polygons configuration of covers were obtained with the analyzed image, evaluating sizes and forms of ten types of identified covers with the program ArcGis 10 and Patch Analyst. The cover which most area takes in the district is paramos, which is severely affected by burnings and establishment of productive systems especially in Sumapaz locality. In second and third place are urban areas and farming use respectively, which have grown in size and apply pressure over natural areas; forest, in fourth place in area, have had losses specially in big patches in Sumapaz which have been fragmented and are disappearing as is shown in the results of deforestation rates.

Also they were registered scrubland zones, pine and eucalypt fields, water bodies, subxerophytic vegetation in *Ciudad Bolívar* and intermingled vegetation of native forests with exotic species in East Mountains. In general the patches sizes are small with forms which indicated intervention and fragmentation according with each type of cover. Regarding the representatively in the protected areas system, all the covers registered appropriate values, nevertheless, in protection areas occur anthropic activities that affect its conservation being this indicator enough to evaluate the ecosystem state. The results show deterioration over the paramos, the same as the forests and subxerophytic ecosystems, which not only means the loss of the forest resources or paramo and dry zones vegetation, but also involve negative impacts in soils, water, biological diversity and weather, since the narrow relations that exist between tree covers and the rest of named resources and is even more alarming since the tight relation of these ecosystems with the water regulation.



1. INTRODUCCIÓN

FOTO: VILMA JAIMES
Vista a la ciudad desde Ciudad Bolívar



INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso del suelo, la fragmentación de los ecosistemas y la consecuente degradación de hábitats, el cambio climático, la contaminación por carga de nutrientes como el nitrógeno, la sobre-explotación y la propagación de especies invasoras son actualmente los causantes más importantes de los cambios y la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial (MEA, 2005). Para los ecosistemas presentes en los Andes, los páramos y bosques alto andinos se consideran ecosistemas estratégicos para el país debido a los servicios ambientales que prestan a la sociedad, ya que en ellos se generan y regulan parte de las fuentes de agua que comprenden la compleja red hidrológica nacional e internacional, además de albergar gran parte de la diversidad biológica. Desafortunadamente estos beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas se ven afectados. Las modificaciones y pérdidas que se han dado representan una amenaza al mantenimiento de los servicios ambientales y a la conservación de la biodiversidad.

Resultados sobre los cambios en las coberturas terrestres para Colombia adelantados por Sánchez-Cuervo *et al.* (2012) mostraron sorprendentes tendencias de recuperación forestal entre los años 2001 y 2010. Los autores determinaron cómo el cambio de la tierra tuvo una variación en el país, a las escalas de bioma, ecorregión y municipio. Los resultados mostraron una inesperada tendencia a la recuperación del bosque, sobre todo en la región de los Andes. Por otra parte, el norte de Páramo Andino fue una de las ecorregiones con la conversión de tierras más intensa y se evidenció que otras se encuentran subrepresentadas en la

red de áreas protegidas, como por ejemplo los Llanos Orientales y las ecorregiones del bosque seco Apure-Villavicencio y del bosque húmedo Magdalena-Urabá.

La transformación de la tierra no es homogénea en Colombia, sino que varía mucho entre las diferentes regiones ecológicas y políticas. Los Andes y las regiones del Caribe han sido las más afectadas en el marco del proceso de colonización, y la tala de bosques se ha concentrado en las tierras bajas, principalmente en las regiones del Amazonas y del Orinoco. Un área importante para la conservación es el bosque montano en la ecorregión del norte de los Andes; por su parte, el altiplano cundiboyacense tuvo una ganancia sustancial y significativa de la vegetación boscosa entre 2001 y 2010 (Sánchez-Cuervo *et al.* 2012).

GENERALIDADES DEL DISTRITO CAPITAL

El Distrito Capital de Bogotá comprende 163.661 ha, de las cuales 23,41% son de área para usos urbanos y 76,59% rural, divididas política y administrativamente en 20 localidades (Figura 1). De éstas, siete tienen suelo tanto urbano como rural (Usaquén, Chapinero, Santa Fé, San Cristóbal, Usme, Suba y Ciudad Bolívar) y una, Sumapaz, es únicamente rural (Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010).

Ubicada sobre la cordillera Oriental, Bogotá se ve afectada por las corrientes húmedas de la Orinoquia y Amazonia que hacia la zona nororiental y parte de la central del Distrito, presentan una precipitación entre 500 y 1000 mm anuales; hacia el sur (sector del páramo de



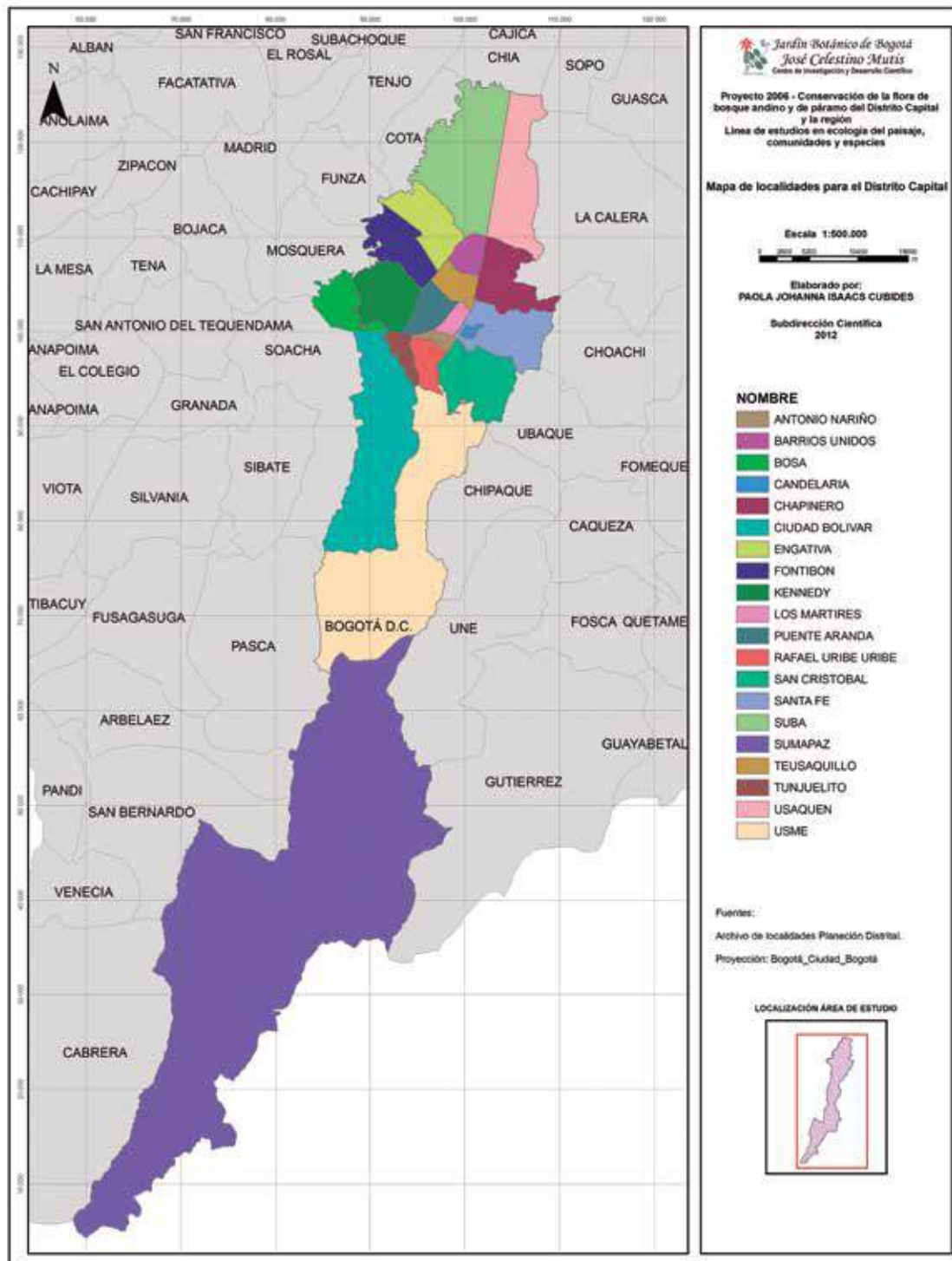


Figura 1. Ubicación de las localidades de Bogotá. (Elaboración propia, fuente Planeación Distrital).

Sumapaz), la precipitación se encuentra entre 1000 y 1500 mm anuales, y hacia el oriente aumenta hasta los 2000 mm anuales (Ideam 2005). Hacia el occidente la temperatura media anual oscila entre 6 y 12°C; del nororiente hacia el centro entre 12 y 18°C; y hacia la zona oriental se encuentran temperaturas entre 3 y 6°C (sub páramo) (Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010).

FRAGMENTACIÓN DE ECOSISTEMAS EN EL DISTRITO CAPITAL

La cobertura de la tierra se refiere a los elementos de la superficie terrestre que incluye la vegetación, infraestructura humana, suelos desnudos, rocas expuestas y superficies acuáticas terrestres (Di Gregorio y Jansen 2005). El Distrito Capital está conformado hoy por un mosaico de coberturas con diferente composición, tamaño y disposición espacial, el cual se ve altamente influido por las actividades humanas. Este tipo de transformaciones han sido consideradas como causa de afectación del funcionamiento de los sistemas ecológicos en otras partes del mundo (Forman 1995) y en Colombia (Kattan 2001).

La deforestación es el proceso de transformación inmediata o constante de tierras de bosques naturales a zonas desprovistas de esa cobertura original (Ideam 2010); se da principalmente por intervención antrópica, y causa heterogeneidad en el paisaje a través de procesos como la fragmentación, definida esta como el reemplazo de áreas de bosque nativo por otro ecosistema aislado (parche), separado, que difiere en tamaño y que presenta condiciones diferentes para la flora y fauna nativas (Lovejoy *et al.* 1986, Murcia 1995, Ries *et al.* 2004, Fonseca y Joner 2007).

La fragmentación disminuye el tamaño de los bosques y su conectividad en el paisaje -es decir, la continuidad y extensión de las coberturas que se presentaban inicialmente-

lo que afecta la calidad del hábitat de las especies, aísla sus poblaciones y las hace más vulnerables a la extinción (Murcia 1995). El problema de pérdida y fragmentación de las coberturas naturales se ha constituido como una de las principales dificultades de conservación de los paisajes rurales del Distrito Capital, los cuales en su mayoría se encuentran en alto grado de aislamiento debido a las actividades productivas que se dan alrededor del casco urbano (Correa 2008, Phillips y Navarrete 2009, Funambiente 2010). Esta intervención se ha reportado en diversos trabajos como los realizados por Remolina (2007) en el casco urbano de Bogotá, Correa (2008) en la cuenca media del río Tunjuelo y Cerros Orientales de Bogotá, IAvH y la Secretaría de Ambiente (2008) para el borde norte, Phillips y Navarrete (2009) en el sector de Chisacá y La Regadera, Funambiente (2010) para el sector del borde urbano rural y BIOSIG-UN (2010) para los bosques de niebla presentes en el Distrito.

Para evaluar la fragmentación y la conectividad usualmente se emplean métricas o modelos diseñados según la aproximación de patrones espaciales, para explicar a través de estadísticas de composición y configuración, la distribución de las coberturas, los patrones y procesos espaciales asociados, así como los cambios que se presentan a través del tiempo y cómo se comportan en comparación con otros (Legendre y Legendre 1998).

Uno de los insumos con los que se cuenta actualmente para la evaluación de patrones del paisaje son los sensores remotos y las imágenes satelitales resultantes, las cuales permiten hacer cuantificación de los usos y cobertura de la tierra, y analizar los procesos de fragmentación y deforestación que se han dado, de forma económica y rápida (Anaya 2009). Asociado con esto, se emplean diferentes periodos de tiempo para el posterior cálculo de las tasas de deforestación y pérdida de las coberturas con base en la variación del comportamiento de

éstas a través del tiempo (Defries *et al.* 2001, Ideam 2010).

Finalmente, la evaluación temporal y periódica de los patrones espaciales de distribución, extensión, pérdida, fragmentación y representatividad (BIOSIG-UN 2010) de las coberturas vegetales naturales que aún están presentes en el Distrito Capital, son de gran utilidad para evaluar el estado y la efectividad de las actividades de conservación, lo cual es insumo para los tomadores de decisión con fines de mejorar, agregar e implementar acciones de manejo de las coberturas naturales y de los objetivos de conservación.

ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN EN EL DISTRITO CAPITAL

Dentro de las estrategias de conservación de la biodiversidad propuestas, se encuentra el diseño de áreas protegidas, las cuales se basan en unos criterios de selección para su conformación; para definir el objeto de análisis existen varios criterios para la planificación de los sistemas de áreas protegidas como el tamaño, forma, especie o grupos de especies objetivo de conservación, complementariedad, rareza, vulnerabilidad, entre otros (Bennett 1999, Pressey *et al.* 2002).

Dentro de estos criterios se encuentra la representatividad, la cual permite evaluar qué tanto de una cobertura determinada se presenta en las áreas protegidas, de acuerdo con las metas de conservación propuestas, con el fin de garantizar la adecuada preservación de los ecosistemas (Dinerstein *et al.* 1995, Stoms 2000).

En este contexto, los sistemas de áreas protegidas deben contar con una muestra de la zona que contenga la variabilidad natural de la diversidad que se presente y evaluar qué tanto abarca y su tamaño. Para esta evaluación se establecen metas de conservación como un umbral de base para determinar si los ecosistemas están

bien representados en las áreas protegidas. El supuesto de este tipo de aproximación, desde los ecosistemas, es que al proteger muestras de todos los hábitats se conservarán la mayoría de las especies. Usualmente se ha considerado que si un elemento de la biodiversidad se encuentra presente en las áreas protegidas en un porcentaje que oscila entre el 10 y el 12, éste está bien representado (Dinerstein *et al.* 1995, Stoms 2000).

El Distrito Capital tiene una red de elementos para la conservación denominada Estructura Ecológica Regional de la Región Capital, la cual está compuesta por la Estructura Ecológica Principal (EEP) y la Infraestructura Ecológica (IE). Esta red sostiene y conduce la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales a través del territorio, en sus diferentes formas e intensidades de ocupación, dotando al mismo de servicios ambientales para su desarrollo sostenible (van der Hammen 1998, Remolina 2011). De acuerdo al Decreto 190/2004, la Estructura Ecológica Principal incluye las denominaciones de áreas protegidas, parques urbanos, corredores ecológicos y la zona especial del río Bogotá, y cuenta con un total de 71 áreas distribuidas en los siguientes grupos:

- Áreas de manejo especial nacionales
- Áreas de manejo especial regionales
- Santuario distrital de fauna y flora
- Área forestal distrital
- Parque ecológico distrital
- Parques urbanos
 - De escala metropolitana
 - De escala zonal
- Corredores ecológicos
 - De ronda
 - Vial
 - De borde
 - Regional
- Área de manejo especial del río Bogotá

- Ronda hidráulica del río Bogotá
- Zona de preservación y manejo del río Bogotá

Muchas de estas áreas tienen un objetivo de conservación en particular, relacionado con las condiciones de las coberturas, sin embargo aún es ambigua la funcionalidad y propósito de éstas, por lo cual es necesario realizar evaluaciones y monitoreos de la viabilidad de su implementación y alternativas que mejoren y complementen sus funciones (Remolina 2011). En conjunto se reconoce la importancia desde el aspecto jurídico y técnico, pero su gestión, declaración y planes de manejo están todavía en proceso de consolidación. Como lo mencionan Andrade *et al.* (2009) es necesario que en el Sistema de Áreas Protegidas para el Distrito se incluyan criterios para la gestión de la conservación y categorías de manejo con base a estándares internacionales, basada en criterios de atributos de la naturaleza, regímenes de manejo y usos y actividades permitidas. Además, para mejorar la gestión y garantizar la conservación a la escala de paisaje proponen una tipología que integra las áreas protegidas en bloques, mosaicos y complejos de conservación.

A pesar de que el concepto de Estructura Ecológica Principal (EEP) se constituye en uno de los tres ejes principales que direccionan el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá (POT) incluido en la norma del Decreto Distrital 190 de 2004 como una herramienta de planificación, ha entrado en conflicto con otras funciones urbanas como la movilidad, la recreación y la provisión de espacio verde. También se han presentado conflictos entre las estructuras del modelo de ordenamiento, por lo que se han formulado nuevos criterios de funcionalidad, conectividad y complementariedad que tratan de armonizar las complejas relaciones urbano-rurales y que se incluyen en la propuesta de modificación excepcional del POT que desarrolla la actual administración de Bogotá Humana.

Por otro lado, la EEP de Bogotá también es considerada como un eje estructural del ordenamiento y planificación ambiental regional, particularmente para la conectividad del corredor de conservación entre el páramo de Guerrero, el páramo de Chingaza, los Cerros Orientales y el páramo de Sumapaz (Sguerra *et al.* 2011).



2. METODOLOGÍA

FOTO: VILMA JAIMES
Páramo de Sumapaz

DESARROLLO DE MAPAS DE COBERTURA

Se determinaron los patrones espaciales de distribución, extensión, pérdida, fragmentación y representatividad de las coberturas vegetales para el Distrito Capital por medio de la clasificación de cobertura de la tierra, la cual se obtuvo a partir del procesamiento digital de cuatro imágenes Landsat 5 (Path-row 08-57) de los años 1991, 2001, 2010 y 2012 con ayuda del programa ERDAS 9.2. Para la clasificación se escogieron y descargaron del servidor de la USGS (<http://glovis.usgs.gov/>), imágenes correspondientes al mes de enero de cada año para disminuir la probabilidad de presencia de nubes (Ideam 2010).

Posteriormente se realizó la interpretación de la imagen; se aplicaron mejoras, filtros y realces para facilitar la identificación de las coberturas y, se clasificaron con base en una combinación de bandas espectrales (453) que facilitan la diferenciación de la vegetación; así mismo se realizó una clasificación supervisada y recodificación local, corrigiendo aquellas que quedaron mal clasificadas; finalmente se eliminaron los píxeles menores a 1 ha y así eliminar polígonos separados o aislados que quedaron al momento de verificar la clasificación (Figura 2, Chuvieco 2002, Posada 2008).



Figura 2. Pasos para el Procesamiento Digital de Imágenes (PDI).

Para comprobar la veracidad de la clasificación, se realizaron cuatro salidas de campo en las cuales con ayuda de GPS se tomaron puntos de referencia para validar la clasificación propuesta. Asimismo se utilizaron como base los diferentes productos cartográficos de cobertura realizados a la fecha por el Jardín Botánico y la cartografía desarrollada por

entidades como la Secretaría de Ambiente y sus informes técnicos. Finalmente, se realizaron las salidas gráficas finales las cuales están elaboradas a escala 1:100.000 con una mínima unidad cartografiable de una ha y según lo observado en las imágenes, se generaron diez clases de coberturas definidas de la siguiente manera (Tabla 1).

Tabla 1. Coberturas presentes para los cuatro periodos de tiempo

CLASE	COBERTURAS	
BOSQUE	Áreas de bosque nativo, por debajo de 3.500 m con respuesta espectral de vegetación arbórea y textura granulada típica de bosques, que difieren de aquellas zonas de matorrales altos presentes en el subpáramo, los cuales suelen ser incluidos como bosques en otras clasificaciones.	
PLANTACIONES	Zonas homogéneas de pino y eucalipto que presentan respuesta similar a la de bosque, pero que muestran formas cuadradas o rectangulares y color más oscuro que la de bosque en combinación 453. Las zonas de plantaciones se encuentran bien diferenciadas en Cerros Orientales y en los embalses de La Regadera y Chisacá.	
MIXTO DE BOSQUE Y PLANTACIONES	Zonas de entremezcla de vegetación nativa boscosa, y pinos y eucaliptos que usualmente se encuentra en las zonas de los Cerros Orientales, con un patrón similar a las coberturas anteriores pero que son difícilmente separables de bosques nativos y que por comprobaciones de campo se lograron diferenciar.	

PÁRAMO	Zonas con respuesta espectral similar a los pastos, pero con un verde claro fácilmente diferenciables de los pastizales de sistemas productivos, en zonas de Cerros Orientales y al sur del Distrito, con alturas por encima de los 3.200 m.	
MATORRALES	Zonas en regeneración adyacentes a bosques secundarios, con tonos naranja en la imagen y textura menos densa que la de los bosques. Igualmente se incluyeron zonas de matorrales ubicadas por encima de 3.500 m. que corresponden a áreas de subpáramo.	
ZONAS DE PASTOS Y CULTIVOS	Zonas de uso agropecuario de pastos, invernaderos y cultivos, con tonos naranjas y verdes pero que presentan patrones con formas cuadradas.	
ZONAS SUBXEROFÍTICAS	Zonas del enclave subxerofítico de Ciudad Bolívar y Usme, al suroccidente del casco urbano, con respuesta espectral similar a los pastos.	
ZONAS URBANAS	Zonas del casco urbano de Bogotá, en tonos grises, en combinación 453.	

ÁREAS QUEMADAS

Zonas de tono verde oscuro o negro, generalmente ubicadas en páramo.



CUERPOS DE AGUA

Zonas de lagunas, embalses y humedales de color azul fuerte y negro.



MÉTRICAS DE COMPOSICIÓN Y CONFIGURACIÓN

Para evaluar los patrones del paisaje se emplean métricas de la estructura en términos de composición y configuración a nivel de paisaje o por cada cobertura (McGarigal *et al.* 2002). Las métricas de composición las cuales están asociadas con la variedad y abundancia de las coberturas sin considerar el carácter espacial, incluyen medidas de proporción de cada clase de riqueza (número de parches), equidad (abundancia relativa de parches) y diversidad (incluyendo riqueza y equidad) (McGarigal *et al.* 2002). En el caso de la configuración, en las métricas que se emplean se relacionan con el tamaño y forma, reconociendo las propiedades ecológicas del parche y la influencia de sus vecinos (McGarigal *et al.* 2002).

Índices de diversidad como el de Shannon dan idea de la complejidad y por lo tanto de la variedad de coberturas presentes en el paisaje, donde valores altos indican mayor cantidad de clases y paisajes complejos que, dependiendo de la composición, darán idea del grado de intervención de la zona, si las clases con estos

valores son coberturas antropizadas (McGarigal *et al.* 2002); de otra parte, para la configuración relaciona el tamaño que muestra los valores de las métricas del número de parches, tamaño medio, su desviación estándar y coeficiente de variación, suministrando estadísticos sencillos de lo que ocurre en cuanto a las dimensiones de las coberturas evaluadas (McGarigal *et al.* 2012).

Finalmente, la complejidad de la forma del parche relaciona su geometría, evaluando si tienden a ser simples o compactos. Las métricas más comunes están basadas en la cantidad relativa del perímetro por unidad de área (por ejemplo círculo o cuadrado), donde un parche natural tiene formas más irregulares y un parche simétrico, como una parcela de cultivo, poseería formas más cuadradas o simples (Mcgarigal *et al.* 2012).

Para evaluar la distribución y extensión en términos cuantitativos y cualitativos y entender el estado de fragmentación de las coberturas, se

calcularon las métricas de diversidad, forma y tamaño a nivel de clase y de paisaje con ayuda de la extensión Patch Analyst (Tabla 2), la cual hace una interface con el programa Fragstats empleado ampliamente para dichos análisis

(MacGarigal y Marks 2002). La extensión por cobertura se comparó para los cuatro años, agrupando por rangos de áreas los tamaños encontrados.

Tabla 2. Métricas de composición y estructura empleadas en los análisis

GRUPO	ABR.	MÉTRICA	DESCRIPCIÓN
DIVERSIDAD	SDI	<i>Shannon's Diversity Index</i>	Es una medida de diversidad de parches a nivel de paisaje, que será igual a cero (0) si hay un solo parche, e incrementará a medida que aumenta el número de parches.
	SEI	<i>Shannon's Evenness Index</i>	Medida de distribución y abundancia que se acerca a cero (0) cuando la distribución de los parches es baja.
FORMA	AWMSI	<i>Area Weighted Mean Shape Index</i>	Medida de irregularidad en la forma del parche que es igual a uno (1) cuando es circular e incrementa con la irregularidad. Incluye una medida de peso que permite que parches grandes tengan mayor peso que los pequeños.
TAMAÑO	MPS	<i>Mean Patch Size</i>	Tamaño promedio de los parches.
	NumP	<i>Number of Patches</i>	Número total de parches por clase o a nivel de paisaje.
	PSSD	<i>Patch Size Standard Deviation</i>	Desviación estándar del tamaño de los parches.
	TLA	<i>Landscape Area</i>	Suma de las áreas totales del paisaje.
	CA	<i>Class Area</i>	Suma de áreas de todos los parches que pertenecen a una clase.

CÁLCULO DE LAS TASAS DE DEFORESTACIÓN

La tasa de deforestación para los cuatro años evaluados se estimó empleando la fórmula matemática para el cálculo del cambio anual en la cobertura forestal sugerida por Puyravaud (2003), comparando 1991 con 2001 y 2010, así como 2001 con 2010 y 2012:

$$r = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \times \ln \frac{A_2}{A_1}$$

Donde:

- A_1 superficie de bosque al inicio del período
- A_2 superficie de bosque al final del período
- t_1 año de inicio del período
- t_2 año final del período

CÁLCULO DE LA REPRESENTATIVIDAD

Se evaluó la representatividad que presentan las coberturas vegetales en el Sistema de Áreas Protegidas del Distrito. Para ello se empleó la siguiente fórmula (BIOSIG-UN 2010):

$$RE_{iht} = \frac{\left(\frac{APE_{iht}}{ATE_{iht}} \right) \times 100}{MR_{iht}}$$

donde:

- RE_{iht} representatividad del tipo de ecosistema i , presente en un área de interés h , en un tiempo t .
- APE_{iht} Superficie protegida (hectáreas) de un ecosistema i , en el área de interés h en un tiempo t .

- ATE_{iht} Superficie total (hectáreas) de un ecosistema i , en el área de interés h , en un tiempo t .

- MR_{iht} Meta de representatividad para el ecosistema i , en el área de interés h en un tiempo t .

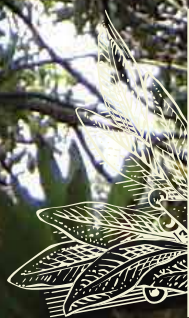
Cuando el indicador es menor a 1, el ecosistema i se considera subrepresentado en el sistema de áreas protegidas del área de interés h , en el tiempo t ; cuando es igual a 1 se encuentra representado de forma “adecuada”; y cuando es mayor a 1, está mucho más representado considerando la meta de representatividad para ese ecosistema. En este caso se evaluó la representatividad considerando un 10 y 20.

El esquema general de la metodología empleada se presenta en la Figura 3.



DETERMINAR LOS PATRONES ESPACIALES DE DISTRIBUCIÓN, EXTENSIÓN, PÉRDIDA, FRAGMENTACIÓN Y REPRESENTATIVIDAD DE LAS COBERTURAS VEGETALES PRIORIZADAS.	ARC GIS	REVISIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DISPONIBLE
	ERDAS	DEFINICIÓN Y OBTENCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES PARA CUATRO FECHAS. PREPARACIÓN DE LAS BANDAS.
		EVALUACIÓN PRELIMINAR DE COBERTURAS (REALCES, CORRECCIONES, ÍNDICES Y FILTROS).
		CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA Y SUPERVISADA DE LA IMAGEN, DEFINICIÓN DE LEYENDA, SEPARABILIDAD.
		REALCES FINALES (CLUMP, ELIMINATE), RECODIFICACIÓN GLOBAL Y LOCAL.
	PATCH ANALYST - FRAGSTATS	CÁLCULO Y ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO MEDIANTE MÉTRICAS ESTRUCTURALES DE LOS FRAGMENTOS.
		DEFINICIÓN DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LOS FRAGMENTOS EN LAS ÁREAS PROTEGIDAS.
		CÁLCULO DE LAS TASAS DE PÉRDIDA DE LAS COBERTURAS.
		FORMATOS DE SALIDAS Y VERIFICACIÓN EN CAMPO.

Figura 3. Metodología empleada en el presente trabajo.



3. RESULTADOS

FOTO: ARGENTIS BONILLAS
Bosque altoandino, en Agroparque Los Sochés



RESULTADOS

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS COBERTURAS

En terminos generales, la cobertura que domina el Distrito Capital es la de páramo (ocupando cerca del 40% del área total), seguida de sistemas productivos con pastos y cultivos; sin embargo, la matriz es netamente antrópica si se incluye la extensión del casco urbano de Bogotá, llegando al 45%. En menor medida los bosques ocupan 6% y los matorrales 5% (Tabla 3).

Las coberturas se distribuyeron de la siguiente manera (Figura 4): hacia el borde norte se encuentran zonas de pastos y cultivos, seguidas hacia el sur del casco urbano de Bogotá y a su derecha los Cerros Orientales, los cuales presentan una mezcla de pinos, eucaliptos y vegetación nativa, con actividades de uso agropecuario entre el límite de los Cerros;

Tabla 3. Área ocupada por cobertura en los periodos de tiempo evaluados

1991			2001		2010		2012		
CLASE	ÁREA Ha								
COBERTURAS NATURALES									
Páramos	65.205,70	39,88%	60.825,24	37,20%	63.001,65	38,53%	63.853,49	39,05%	↑
Bosque	10.767,29	6,58%	9.270,58	5,67%	9.974,07	6,10%	9.904,62	6,06%	↓
Mixto	5.037,15	3,08%	4.961,73	3,03%	4.561,68	2,79%	4.453,96	2,72%	↓
Subxerofítico	2.230,90	1,36%	1.509,95	0,92%	1.394,17	0,85%	1.319,59	0,81%	↓
Matorrales	6.335,38	3,87%	15.657,61	9,58%	8.177,38	5,00%	8.284,67	5,07%	↑
Cuerpos de agua	202,67	0,12%	264,23	0,16%	268,26	0,16%	275,77	0,17%	↑
Cultivos y pastos	41.550,75	25,41%	35.752,70	21,86%	39.429,57	24,11%	39.931,59	24,42%	↑
Coberturas antrópicas									
Plantaciones	1.124,67	0,69%	682,27	0,42%	996,96	0,61%	986,48	0,60%	↓
Áreas quemadas	3.783,71	2,31%	2.057,94	1,26%	1.056,61	0,65%	91,41	0,06%	↓
Tejido urbano	27.275,19	16,68%	32.537,16	19,90%	34.672,26	21,20%	34.433,76	21,06%	↓



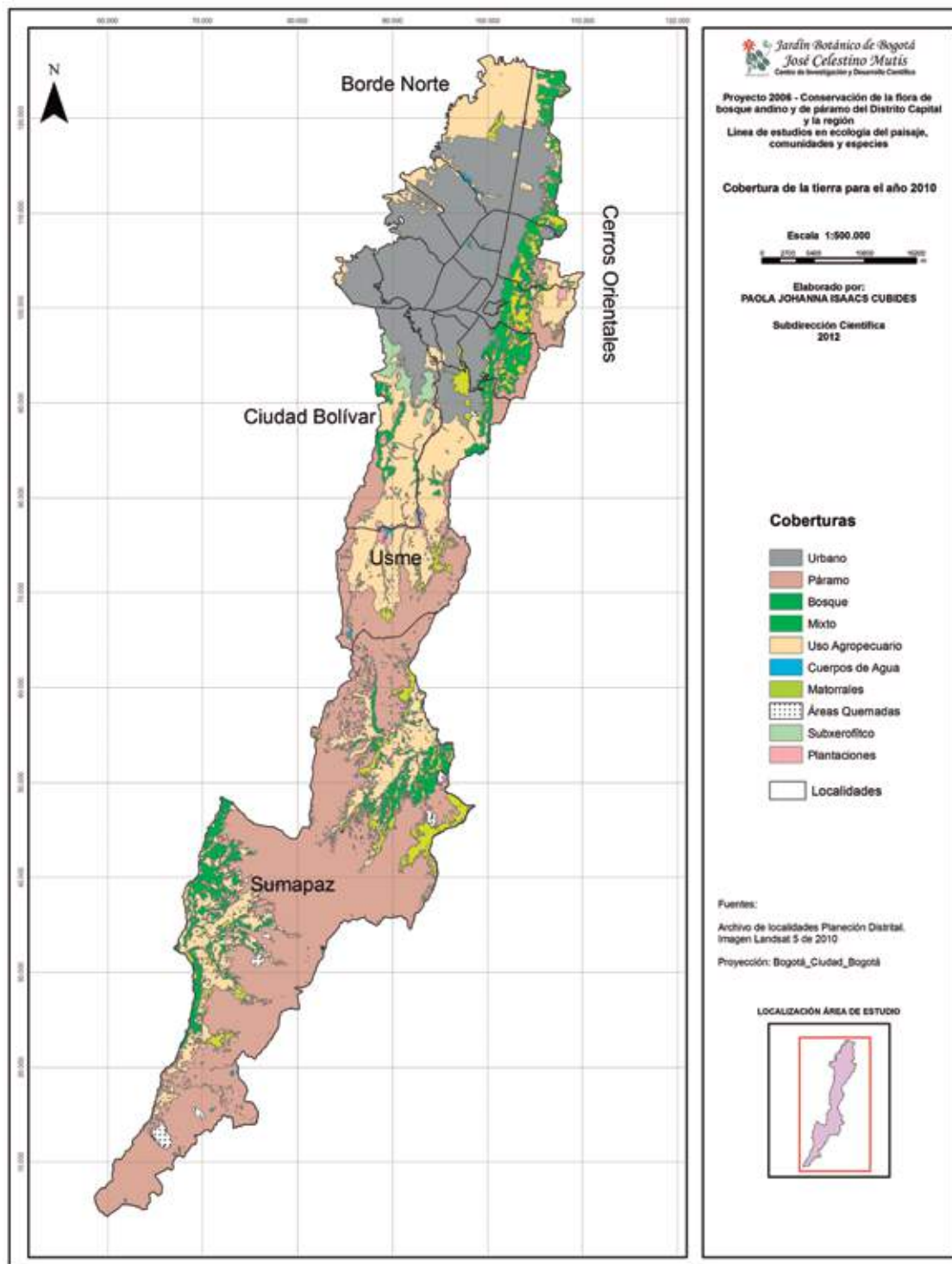


Figura 4. Clasificación final obtenida para la imagen interpretada para el año 2012.

hacia el occidente también se encuentran zonas de uso agropecuario; c) al sur del casco urbano, en la localidad de Ciudad Bolívar, se encuentra la cobertura del enclave subxerofítico, con plantaciones y mixto de plantaciones, y bosque nativo; en la localidad de Usme se encuentran algunas zonas de bosque nativo hacia el límite urbano del Distrito; en el área rural predomina el uso de la tierra con presencia de algunas líneas de plantaciones de pinos y eucaliptos, y al sur se empiezan a presentar las coberturas de páramo.

La localidad de Sumapaz está dominada por páramo, con algunos parches de bosque rodeados de matorrales al nororiente y al suroccidente y zonas de uso agropecuario existen hacia el límite del Distrito. De igual manera ocurre al suroccidente donde adicionalmente las coberturas de páramos presentan zonas de quemadas e incendios de tamaño significativo.

MÉTRICAS DE COMPOSICIÓN Y CONFIGURACIÓN A NIVEL DEL PAISAJE

A nivel de configuración del paisaje, en cuanto a las métricas de tamaño para todas las coberturas presentes, se reportaron un total de 3.682 parches (Pnum) en toda la zona de estudio para el año 2010, 4.955 para el 2001 y 4.398 para el 91, lo que indica la gran cantidad de fragmentos presentes.

Para evaluar los patrones del paisaje se emplean métricas de la estructura en términos de composición y configuración a nivel de paisaje o por cada clase (Tabla 2). Las métricas de composición, asociadas con la variedad y abundancia de las coberturas, incluyeron medidas de proporción de cada clase, de riqueza (número de parches), equidad (abundancia relativa de parches) y diversidad (incluyendo riqueza y equitabilidad. En el caso de la configuración, las métricas que se emplearon se relacionan con el tamaño y forma, reconociendo las propiedades ecológicas del parche y la

influencia de sus vecinos (McGarigal *et al.* 2002).

Según las métricas del paisaje de diversidad, para el SDI (*Shannon's Diversity Index*) se obtuvo un valor de 1,57% en el año 2010; en 1,64% en el 2001, y 1,61% en 1991, lo que indica que hay cierta baja heterogeneidad en el número de parches de la zona. Caso similar ocurre en el SEI (*Shannon's Evenness Index*), donde se obtuvo 0,65% para el 2010, 0,68% para el 2001 y 0,67% para 1991, valor que es bajo en términos de diversidad (Mcgarigal y Marks, 1994). Estas medidas indican que existen pocas coberturas en la zona, sin embargo dos de ellas (uso agropecuario y áreas quemadas) son de tipo antrópico. Tener un índice alto de diversidad indicaría que no se presenta un solo tipo de cobertura, sino muchas, que dependiendo del tipo, es decir, si son naturales o antrópicas, muestran estado de intervención.

Según el índice de forma AWMSI (*Area Weighted Mean Shape Index*), arrojó un valor de 7,93% en el año 2010, 6,04% en 2001 y 9,97% en 1991, lo cual corresponde a la irregularidad de las coberturas tendientes a formas menos regulares, es decir no tan geométricas y heterogéneas (Mcgarigal y Marks, 1994).

En cuanto a la densidad promedio de parches y las métricas de tamaño, para el 2010 el MPS (*Mean Patch Size*) o el tamaño promedio de parches corresponde a un valor de 40,5% (PSSD, *Patch Size Standard Deviation* $DE = \pm 1.120$) y una mediana de 0,33% (MedPS, *Median Patch Size*). Para el 2001 se obtuvo un valor de 30,6% (PSSD, *Patch Size Standard Deviation* $DE = \pm 816$) y una mediana de 0,47% (MedPS, *Median Patch Size*) y para 1991 un valor de 33% (PSSD, *Patch Size Standard Deviation* $DE = \pm 969$) y una mediana de 0,7% (MedPS, *Median Patch Size*) mostrando en todos los casos una fuerte influencia por la gran cantidad de parches pequeños presentes.

MÉTRICAS DE COMPOSICIÓN Y CONFIGURACIÓN DE PARCHES PARA LOS AÑOS EVALUADOS

Comparando los cuatro años evaluados se encontró que aumentaron las zonas de páramos, matorrales, el suelo urbano, los cuerpos de agua y los sistemas productivos (Tabla 3). Porcentualmente la cobertura más dominante en términos de extensión para los cuatro años fue la de páramo, con valores que estuvieron por encima del 39%, presentando una disminución de 2,68% entre 1991 y 2001, un aumento de 1,33% para el 2010 y un aumento del 1,5% para el 2012. Por su parte los cultivos y pastos ocuparon entre el 22% y 25% del área, la cual descendió un 3,55% para el 2001, y presentó un aumento de 2,25% para el 2010 y 0,4% más en el 2012. Los bosques ocuparon de 6,6% a 5,7% de 1991 a 2001, presentando aumento de 0,43% para el 2010 y disminución de 0,04% para el 2012. En el caso de los matorrales, aumentaron un 5,7% en el 2001, disminuyeron un 4,57% en el 2010 y nuevamente aumentaron un 0,07% en el 2012; las áreas quemadas y las zonas subxerofíticas descendieron; por último, el área urbana aumentó 5.261 ha para el 2001, 7.397 ha para 2010 y disminuyó 238 ha para el 2012.

- MÉTRICAS DE TAMAÑO

Para las métricas de tamaño (MPS), los valores más altos se registraron en la cobertura de páramo con valores entre 90 y 130 ha, aunque sus desviaciones estándar son mucho mayores a los promedios, evidenciando la gran variación en los tamaños por la presencia de parches de gran tamaño y unos pocos pequeños. Le siguen en tamaño los sistemas productivos, con valores entre 32 y 37 ha; a diferencia de los páramos, sus desviaciones estándar no son tan amplias. Los bosques reportaron valores de 12 a 20 ha con menor variación, al igual que el mixto de exóticas y bosques cuyas desviaciones estándar están entre valores de 114 a 164 ha. El enclave

subxerofítico es el que mayor variación presentó en sus tamaños promedio, con una desviación estándar amplia en 1991, y reducción en años posteriores debido a la reducción de esta cobertura (Tabla 4). Las demás coberturas presentaron valores de tamaño pequeños con variaciones no tan altas, siendo menos dominantes en cuanto a su extensión.

En cuanto el número de parches, la mayor cantidad la presentaron los pastos y cultivos con más de 1000 parches en los tres años evaluados como un indicio de la cantidad de zonas productivas que se dan en el Distrito, así como sus variaciones en tamaño.

Los páramos presentan entre 490 polígonos en 1991, variando para los siguientes años (648 en 2001 y 528 en 2010), aunque su número se incrementa; sin embargo esto puede estar evidenciando separación entre parches más grandes. De igual manera los bosques aumentaron su número de parches para el 2010, llegando a 788. También se destaca el elevado número de parches de matorrales, en especial en 2001, y las áreas quemadas que se presentan en cifras de más de 100 parches para los tres años (Tabla 5).

- MÉTRICAS DE FORMA

Finalmente, se evaluaron las métricas de forma cuyos valores bajos se dieron para los cuerpos de agua y las áreas quemadas, las cuales presentan formas redondeadas; los valores más altos se dieron para las coberturas naturales, en especial el páramo ya que presenta formas irregulares determinadas también por el relieve, así como para los sistemas productivos que han ido ocupando las zonas naturales, incluso las más complejas en terreno, lo que se refleja en formas irregulares igualmente (Tabla 6).



Tabla 4. Valores en hectáreas del tamaño promedio de parche para las coberturas en los cuatro años evaluados (*Mean patch size - MPS*)

MÉTRICAS	TAMAÑO PROMEDIO - MPS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR - SD							
CLASE	1991	SD	2001	SD	2010	SD	2012	SD
COBERTURAS NATURALES								
Páramos	133,34	2.703,82	93,87	1.873,06	119,32	2.587,94	139,11	3.751,91
Bosques	18,73	155,76	20,51	164,20	12,66	114,55	13,10	116,46
Mixto	12,53	146,54	14,90	114,02	18,70	131,20	18,33	125,95
Matorrales	8,74	42,13	9,01	66,40	16,13	78,19	16,24	77,86
Subxerofítico	106,23	460,79	13,36	118,50	36,69	116,70	40	120,37
Áreas quemadas	5,15	13,13	15,71	36,91	6,07	31,94	1,31	4,12
Cuerpos de agua	5,48	9,03	3,67	8,46	7,66	12,47	7,26	12,06
COBERTURAS ANTRÓPICAS								
Cultivos y pastos	37,43	558,46	32,36	463,19	32,06	506,21	33,75	524,42
Plantaciones	5,92	32,84	16,64	55,71	5,97	23,76	6,24	24,33
Tejido urbano	118,59	1.732,88	101,05	1.778,53	407,91	3.712,37	419,92	3.751,9

Tabla 5. Valores del número de parches (*Number of patches*) para las coberturas en los tres años evaluados

MÉTRICAS	NÚMERO DE PARCHES - NUMP			
CLASE	1991	2001	2010	2012
Páramos	489	648	528	459
Bosques	575	452	788	756
Mixto	402	333	244	243
Matorrales	725	1.738	507	510
Subxerofítico	21	113	38	33
Áreas quemadas	734	131	174	70
Cuerpos de agua	37	72	35	38
Cultivos y pastos	1.110	1.105	1.230	1.183
Plantaciones	75	41	167	158
Tejido urbano	230	322	85	82

Tabla 6. Valores de forma (Area Weighted Mean Shape Index - AWMSI) para las coberturas en los cuatro años evaluados.

MÉTRICAS		FORMA AWMSI			
CLASE	1991	2001	2010	2012	
Páramos	16,30	7,67	11,82	11,11	
Bosques	5,53	4,96	5,87	5,88	
Mixto	5,45	3,94	4,17	3,90	
Matorrales	2,92	3,98	3,29	3,23	
Subxerofítico	5,09	3,30	2,12	2,15	
Áreas quemadas	1,87	1,68	1,60	1,35	
Cuerpos de agua	1,34	1,42	1,49	1,48	
Cultivos y pastos	7,07	4,97	7,57	7,42	
Plantaciones	3,97	2,54	2,42	2,44	
Tejido urbano	5,38	6,35	4,13	4,29	

EVALUACIÓN POR COBERTURAS

- PÁRAMOS

Durante el periodo de tiempo evaluado, los páramos fueron la cobertura dominante en el Distrito Capital, presentando una extensión inicial de 65.205 ha en 1991 que para el 2001 presentó una disminución de 4.380 ha (6,71% con 60.825 ha); posteriormente en el 2010 aumentó 2.176 ha (3,45% con 63.001 ha) y para 2012 presentó un aumento, comparado con el año 2010, de 851 ha por la disminución de zonas productivas y áreas quemadas, las cuales pasaron de 1656 ha a 91 en el 2012 (Figura 5). En cuanto a los parches de mayor tamaño, en 1991 se presentó un parche de 59.797 ha, el cual disminuyó a 46.116 ha y aumentó en el 2010 a 59.489 ha. La mayoría de parches se encuentran por debajo de las 10 ha con valores promedio entre 93 y 133 ha, los cuales aumentaron en tamaño para el 2001. Para 1991 se presentaron tres parches de más de 1.000 ha (1.920, 2.005 y 59.798

ha), y dos parches de más de 1.000 ha para 2001, 2010 y 2012 (12.309 y 46.115 para el 2001; 2.177 y 59.489 para el 2010; 2.183 y 60.364 en 2012) (Figura 6).

El parche más grande está ubicado al sur del Distrito Capital, en zona comprendida entre Usme y Sumapaz, seguido del parche ubicado en la zona sur oriental de los Cerros Orientales; para el 2012, 2010 y 2001 se presentaron los mismos parches, pero el de Sumapaz se separó por la presencia de sistemas productivos en la zona y un área quemada que se presentó en el 2001, dando paso a dos parches de 12.309 y 46.115 ha respectivamente. En el caso de 1991, el parche de mayor tamaño se presentó al sur de Sumapaz y le siguió en tamaño una zona de páramo ubicada en Ciudad Bolívar con 2.005 ha que para los siguientes años se unió al de 12.309 del año 2001 (Figura 6).



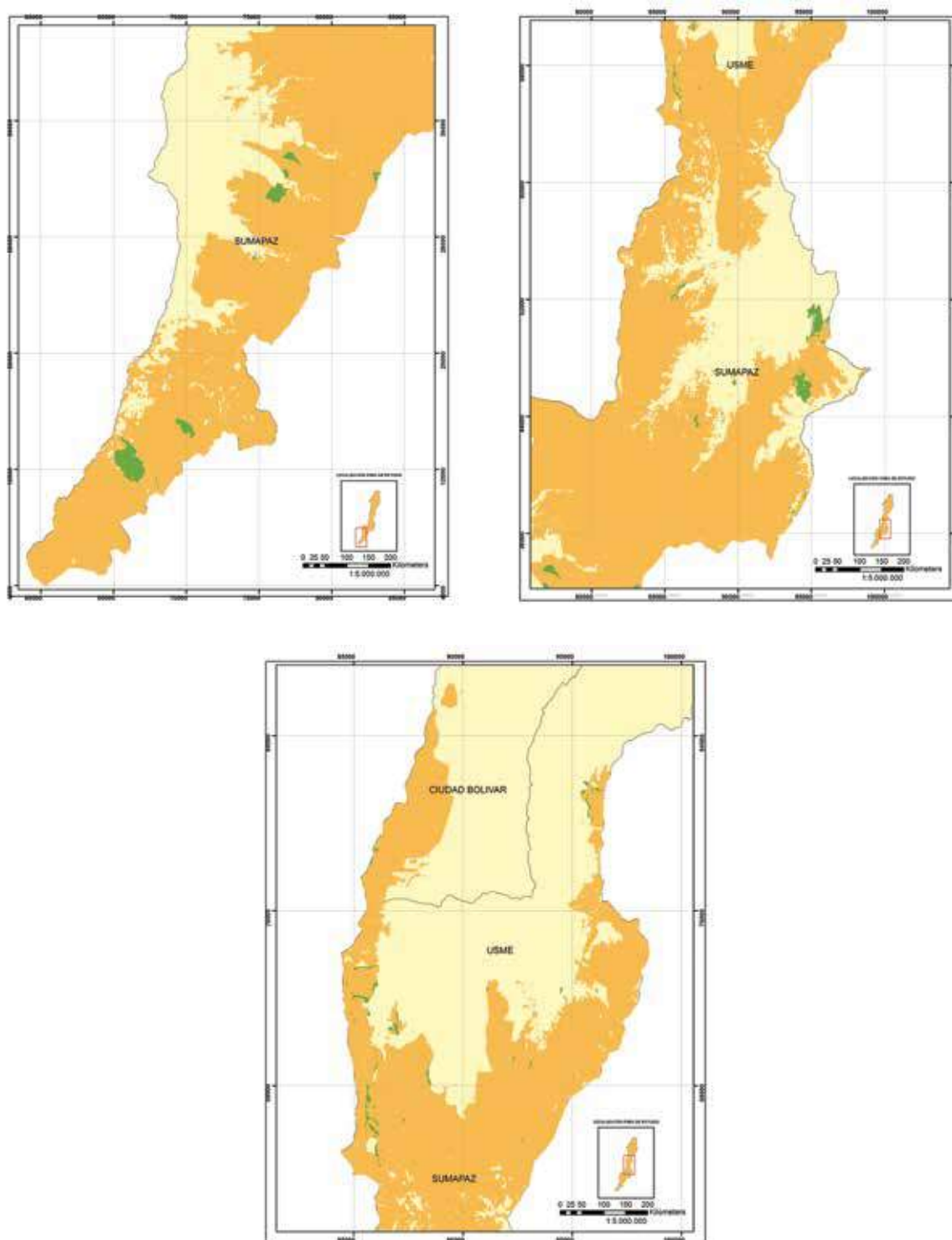


Figura 6. Zonas de reaparición de páramo para los años 2010 y 2012 (en verde) en ventana de Usme y Páramo de Sumapaz.

- ÁREAS QUEMADAS

Los polígonos con evidencia de quemaduras, ocurrieron en su mayoría en las zonas de páramo, especialmente en el páramo de Sumapaz, donde pasaron de un área de 3.783 ha en 1991 a 2.058 ha en el 2001, 1.057 ha en el 2010 y a 91 ha en 2012. El tamaño máximo de las áreas quemadas aumentó de 161 ha en 1991 y 273 en 2001, a 360 en 2010; sin embargo, para el año 2012 descendió fuertemente a 25 ha.

En cuanto a los tamaños de las áreas quemadas, la elevada cantidad de quemaduras de 1991 dio paso a un alto número de zonas menores a 10 ha (743) y la posterior disminución para los otros años (104 parches en el 2001 y 163 en el 2010). De igual manera ocurrió con zonas de 10 a más de 100 ha, las cuales presentaron áreas máximas de 159 y 161 ha para 1991, 153 y 273 ha para el 2001 y de 144 y 360 ha de áreas incendiadas en el 2010, todas especialmente en zonas de páramo, presentando 87, 27 y 11 parches respectivamente.

- BOSQUES

La cobertura de bosque ocupa el cuarto lugar en área en el Distrito Capital, con una extensión inicial de 10.676 ha en 1991, que para el 2001 disminuyó 1.497 ha (0,9% con 9.270 ha) y posteriormente aumentó de 704 ha al 2010 (0,4% con 9.974 ha); sin embargo, según los análisis, se han perdido 863 ha de bosque desde 1991 hasta el 2012 para toda la zona de Bogotá, las cuales se presentaron en una pequeña zona en Cerros Orientales y en los bosques de Sumapaz, para dar paso a sistemas productivos y matorrales.

Los parches de cobertura de bosque de mayor tamaño se ubicaron en los Cerros Orientales y en los dos bloques al sur en Sumapaz, los cuales han tenido una alta dinámica en cambio de coberturas para dar paso a matorrales o sistemas productivos; en menor proporción se evidenció presencia de quemaduras. El parche más grande corresponde al ubicado al sur

occidente de Bogotá (Figura 7), seguido de los Cerros Orientales y el parche ubicado al oriente de Sumapaz para el 2010. En el 2001 y 1991 el parche de los Cerros Orientales es más pequeño.

Se presentó en 1991 un tamaño de parche máximo de 2.492 ha al suroccidente de Bogotá, el cual aumentó para el 2001 a 2.675 ha y disminuyó 183 ha para el 2010, para finalmente alcanzar 1933 ha en el 2012. Esta disminución en los bosques dio paso a zonas de matorrales en el 2001 que para el 2010 y 2012 se convirtieron a sistemas productivos (Figura 8).

El segundo parche más grande en 1991 fue el parche del suroriente con 1.632 ha, el cual para el 2001 presentó 1.724 ha, siendo el más grande para ese año; en el 2010 obtuvo 1.632 ha y en 2012, 1.608 ha por la disminución en esta zona.

El parche del recuadro fucsia, presentó 270 ha en 1991, pero se separó del más grande por matorrales y sistemas productivos; en el 2001 disminuyó a 195 ha presentándose matorrales y en el 2010 volvió a aumentar a 260 ha pero rodeado esta vez con mayores áreas con sistemas productivos que disminuyeron para el 2012 a 253 ha (Figura 9).

Para el 2012 se perdieron 70 ha de bosques que se presentaron en una pequeña zona en Cerros Orientales y en la zona oriental nombrada anteriormente en Sumapaz para pasar a sistemas productivos y matorrales. Para el 2010, el parche de mayor tamaño fue al sur de los Cerros Orientales con 1.682 ha que en el 2001 presentó 1.021 ha y en 1991 un área de 1.335 ha por la presencia de matorrales que han separado la cobertura y se presentó un parche de 556 ha adicional al más grande de 1.682 ha. Para 1991, se presentaron dos parches continuos de 1.135 y 1.151 ha, en el 2001 estos parches contaron con 1.021, 653 y 137 ha separados por matorrales y

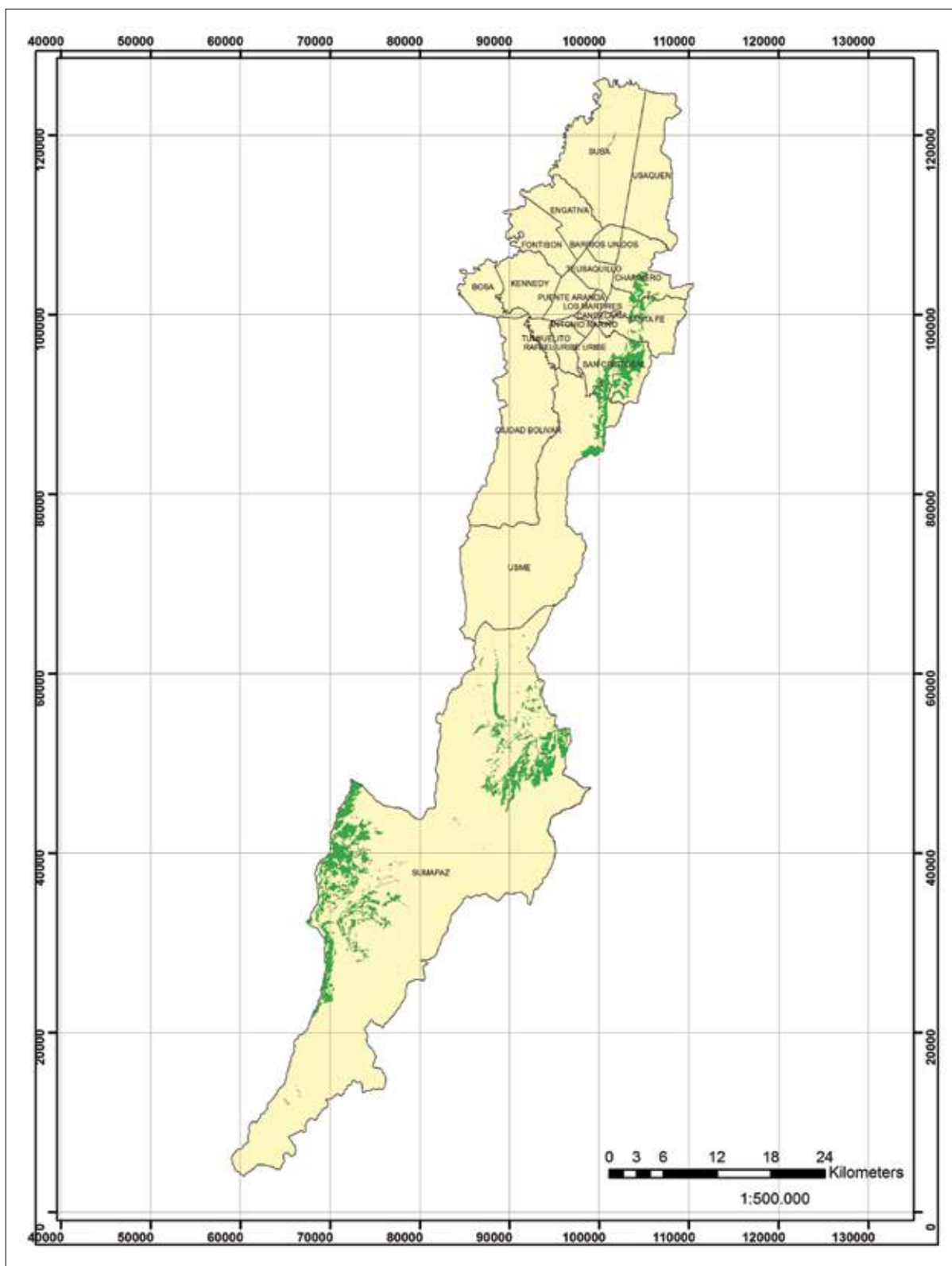


Figura 7. Ubicación de los parches de bosque en Bogotá Distrito Capital.

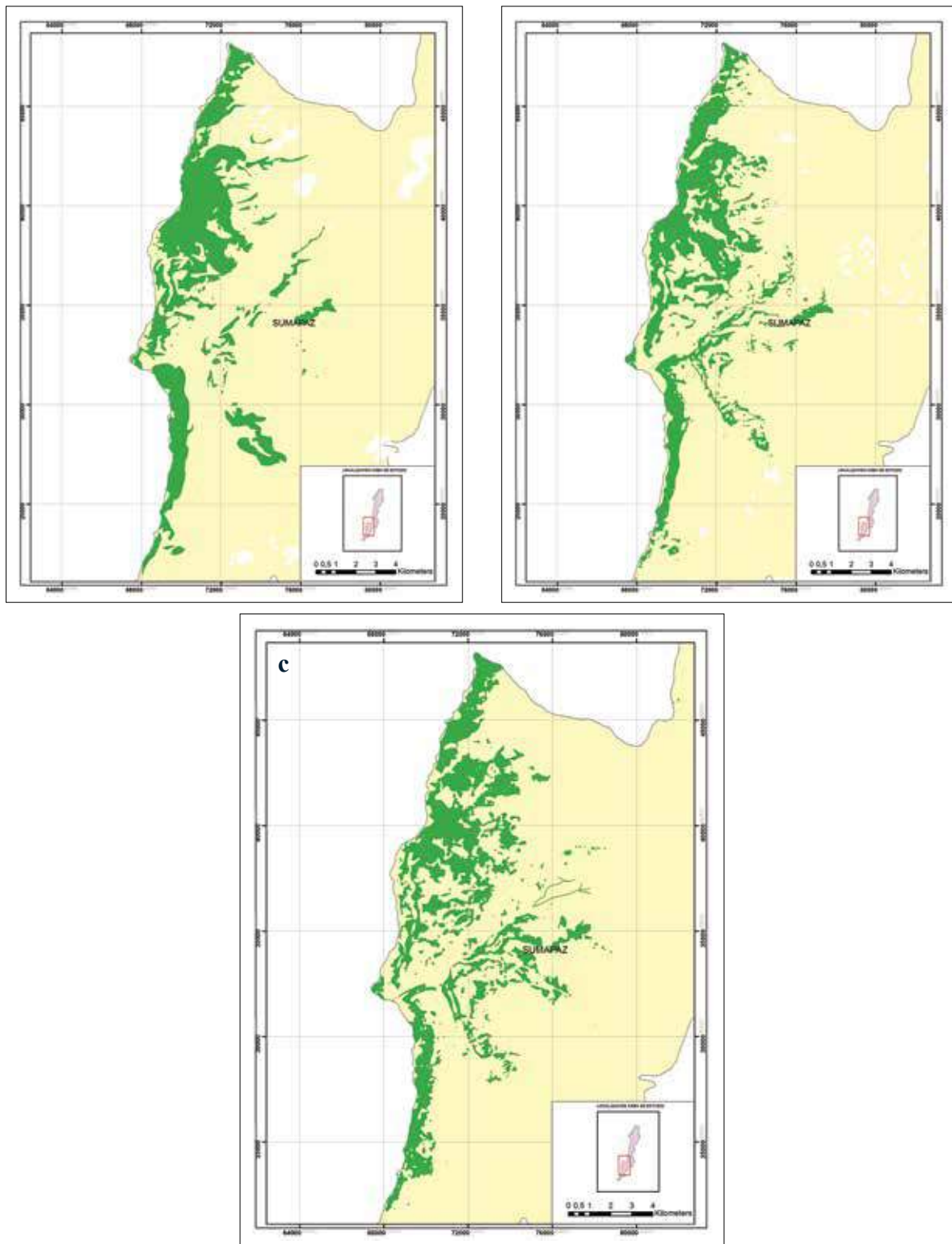


Figura 8. Comportamiento de las coberturas de bosque al sur occidente para 1991 (a); 2001 (b) y 2010 (c).

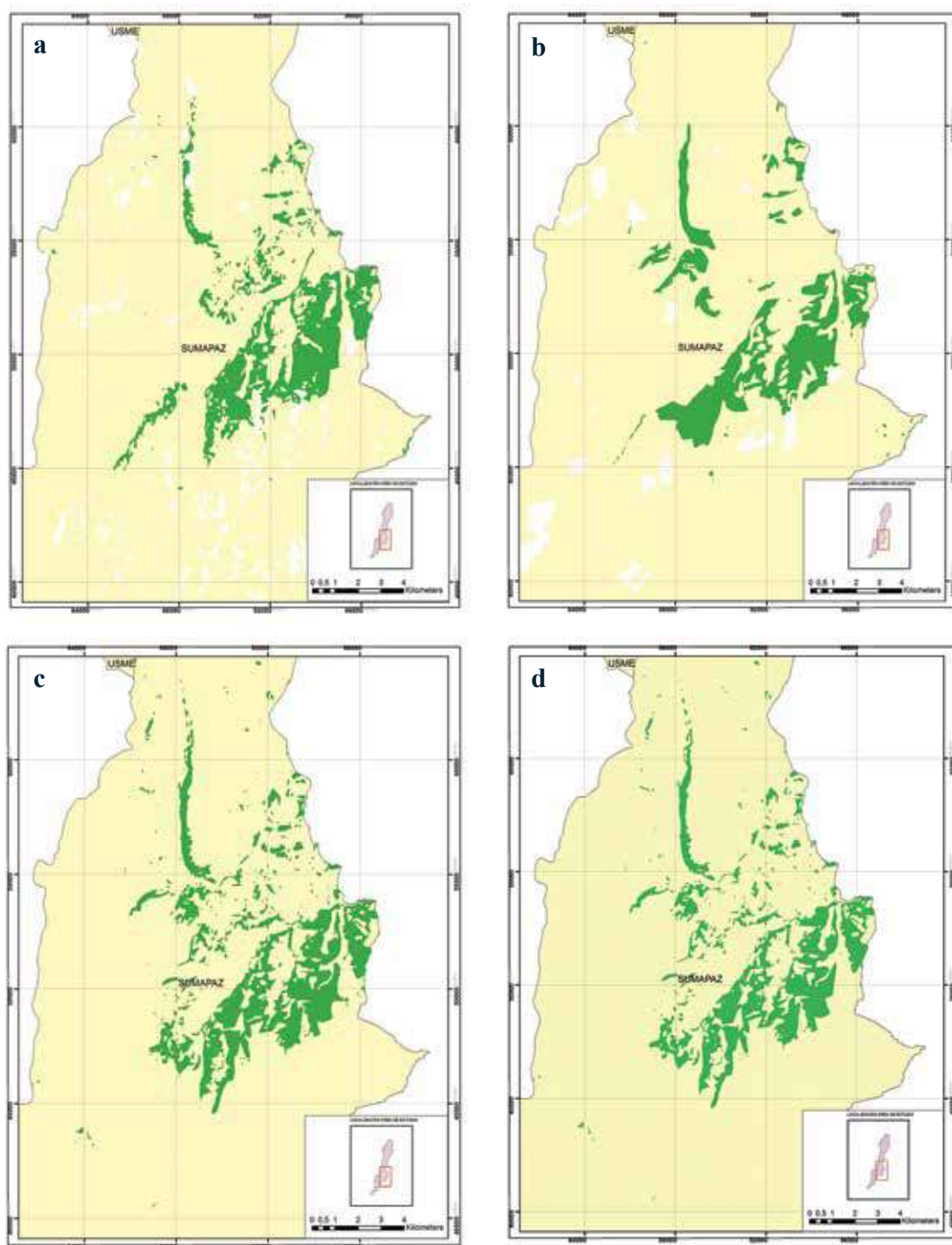


Figura 9. Cambio de los bosques al sur oriente para 1991(a); 2001(b); 2010(c) y 2012(d).

finalmente en el 2012 el parche más grande se ubicó en suroccidente en Sumapaz, seguido del de Cerros Orientales.

La distribución del tamaño de los parches mostró que la mayoría son menores a 10 ha, siendo de gran importancia para la evaluación de la configuración espacial ya que está indicando que hay una elevada cantidad de parches pequeños y pocos de tamaño grande. Por otro lado, se presentaron cinco parches de más de 1.000 ha en 1991 (tres en Cerros Orientales y los dos bloques de Sumapaz), para el 2001 tres parches de 1.021, 1.724 y 2.675 ha, para el 2010 de 1.633, 1.682 y 1.933 ha y en el año 2012, 1608, 1682 y 1933 ha.

- CULTIVOS Y PASTOS

Los cultivos y pastos fueron para el periodo evaluado la segunda cobertura dominante en el Distrito, cuya área de 1991 a 2001 disminuyó en 5.798 ha, pasando de 41.550 ha a 35.752 ha (disminuyendo 3,5%) y aumentando 3.677 ha para el 2010 (a 39.429 ha para un 3,2% de incremento), y 502 ha para el 2012 debido por un lado al incremento de los sistemas productivos en algunas zonas de páramo. Sin embargo en los bordes de la ciudad ha decrecido por el aumento del casco urbano en las zonas de Usme, borde norte y al occidente de la ciudad. Los parches de mayor tamaño se ubicaron en la zona de Usme, borde norte y al suroccidente de Sumapaz, aledaño a las zonas de bosque (Figura 10).

Para los cuatro años la zona más extensa de cultivos y pastos se encontró al sur entre Usme y Ciudad Bolívar, con 14.295 ha para 1991, 13.779 ha para 2001, 15.340 ha para 2010 y 15.662 para 2012, siendo estos los parches más extensos. El segundo parche más grande correspondió al de borde norte, con 10.778 ha para 1991, 4.994 ha en el 2001, 5.719 para 2010 y 5.755 para 2012, lo que muestra la expansión urbana de la ciudad (Figura 11).

La distribución de los tamaños mostró una gran cantidad de parches para el periodo evaluado, especialmente aquellos pequeños (1 - 10 ha) y la presencia de seis parches de más de 1.000 ha, ubicados en la zona de borde norte (Usme) detrás del cerro de Monserrate, zona aledaño a los núcleos de bosque del suroriente (dos parches) y suroccidente del Distrito Capital. Este resultado estaría indicando la dominancia de los sistemas productivos en áreas donde solo se presenta este tipo de cobertura en grandes extensiones continuas y así como por la elevada presencia de parches pequeños que también indican fragmentación del paisaje.

- MATORRALES

Los matorrales presentaron un aumento de cerca de 9.000 ha entre 1991 y 2001 (6.635 ha en 1991 y 15.657 en 2001 con un aumento del 5,7%) y posteriormente una disminución de más de 7.000 ha para el 2010 (8.177 ha correspondientes a un 4,6%), que para el 2012 ascendió a 107 ha, con un tamaño máximo de 843 ha para 1991, 1.550 para el 2001 y 1.404 ha para el 2010 y 2012 como parches más grandes.

La distribución en los tamaños de los parches mostró el mayor valor para los parches menores a 10 ha, llegando incluso en el 2001 a 1.579 parches. Los parches de más de 1.000 ha pasaron de ninguno de ese tamaño en 1991, a dos en 2001 (1.550 y 1.518 ha al sur oriente de Sumapaz), y a uno en 2010 y 2012 de 1.404 ha para el mismo sector. Esta cobertura se presentó a lo largo del Distrito Capital, en los Cerros Orientales, Usme y zonas bajas de Sumapaz, pero para el 2001 los parches más grandes (1.518 y 1.570 ha) se ubicaron en el bloque de bosques al sur-oriental, los cuales dieron paso a bosques en el 2010. Este aumento muestra que hubo una recuperación en ciertas áreas, pero igualmente evidencia que se han perdido zonas de interior de bosque, por procesos de fragmentación de la cobertura.

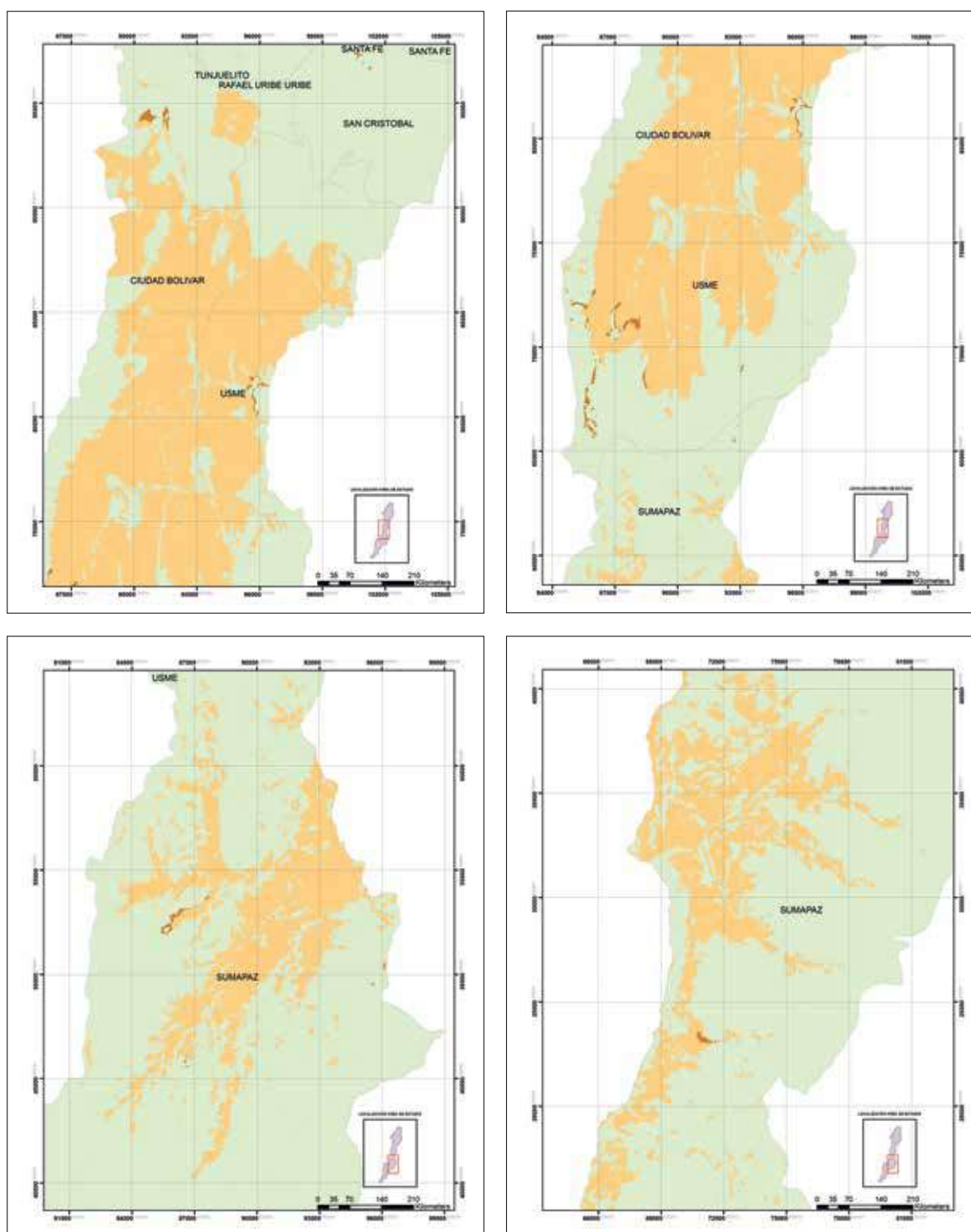


Figura 10. Zonas de presencia de sistemas productivos en páramos, comparación para los años 2010 y 2012 (en naranja).

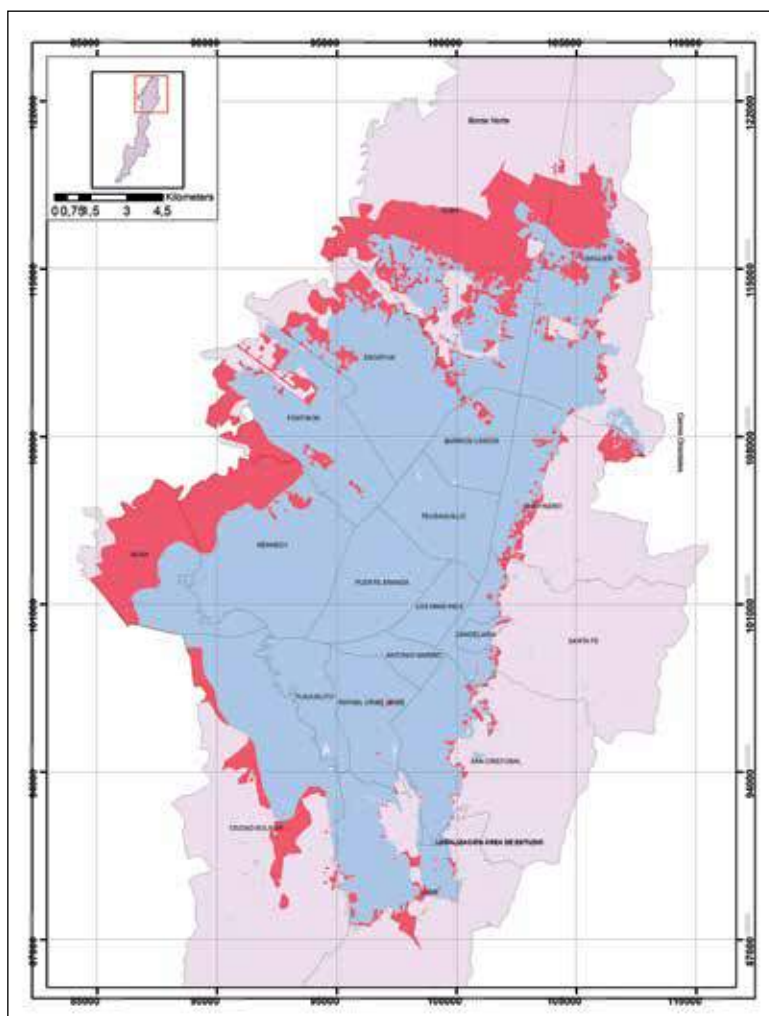


Figura 11. Cambio en el área ocupada por zonas urbanas en 1991 (en azul) y 2012 (en rojo).

- MOSAICO DE PLANTACIONES Y BOSQUES

Las coberturas pertenecientes al mosaico de plantaciones y bosques disminuyeron 76 ha de 1991 a 2001, pasando de 5.037 ha a 4.961 ha; posteriormente también presentaron disminución, así: 400 ha para el 2010 con 4.561 ha y 107 ha para el 2012 (4.453 ha).

Los polígonos de tamaño pequeño (0-10 ha) son dominantes con más de 200 parches para este rango. Para 1991 se presentaron dos parches de 2.733 y 1.066 ha en los Cerros Orientales; para el 2001 el más grande presentó 1.956 ha y se presentó una separación en el segundo parche; nuevamente en el 2010 se encontraron los

misimos parches del 91, pero con 1.653 y 1.030 ha. Para el 2012, los mismos parches del 2010 disminuyeron su tamaño a 1.653 y 838 ha.

- CUERPOS DE AGUA

Los cuerpos de agua aumentaron 73 ha para los cuatro años, con 202 ha en 1991, 264 ha en 2001, 268 ha en 2010 y 276 ha en 2012, con un tamaño máximo de 33, 40 y 54 ha. La distribución del tamaño de los polígonos mostró un aumento hacia el 2001 y una disminución en los parches pequeños (0-10 ha) en el 2010; asimismo se reportó

la presencia de seis, cinco y siete parches de más de 10 ha para 1991, 2001, 2010 y 2012 correspondientes a los embalses de La Regadera y Chisacá y el humedal de Juan Amarillo.

- SUBXEROFÍTICO

Las coberturas del enclave subxerofítico presentes en la localidad de Ciudad Bolívar pasaron de 2.231 ha en el año 1991 a 1.510 ha en 2001, 1.394 ha en 2010 y 1.319 ha en 2012. El tamaño máximo de los parches ha disminuido de 2.166 ha en 1991 a 1.259 ha en 2001 y a 546 ha en 2010 y 2012.

En cuanto a la distribución de los tamaños de los polígonos, la mayoría se ubican en el rango de menos de 10 ha, aunque hubo un aumento en el número de parches en el 2001 (de 19 a 109) y una disminución para el 2010 con 34 parches, lo que evidencia la pérdida de esta cobertura, precedida por un aumento en el número de parches. Hubo un aumento en el número de parches entre 10 a 1000 ha en especial para el 2010 (1, 3 y 4 parches para 1991, 2001 y 2010 - 2012); para este último año no se presentaron parches de más de 1.000 ha ya que todos disminuyeron de tamaño.

- PLANTACIONES DE PINO Y EUCALIPTO

Finalmente, las plantaciones de pino y eucalipto se ubicaron en mayor proporción en los Cerros Orientales, en pequeños parches en la localidad de Usme y rodeando los embalses de La Regadera y Chisacá. Estas fueron taladas disminuyendo su tamaño y pasando de 1.125 ha en el año 1991 a 682 ha en el 2001, pero se incrementaron en el 2010 a 997 ha para nuevamente disminuir a 986 ha en el 2012. Sin embargo, el tamaño máximo de parche presentó la tendencia a disminuir (342 ha para 1991, 327 ha para 2001 y 192 ha, para 2010-2012). En el año 2001 disminuyeron el número de parches menores a 10 ha, pasando de 63 a 34 y se mantuvo estable en el 2010 con

35 parches. El rango de los parches entre 10 y 1.000 ha aumentó su número para el 2010 con 12, 7, 18 y a 12 parches para el 2012, sin presentar nunca parches de más de 100 ha.

CÁLCULO DE LAS TASAS DE DEFORESTACIÓN

Según el cálculo de la tasa de deforestación, para el periodo de 1991 a 2001 se obtuvo un valor de pérdida de cobertura de bosque (1,49%) por la disminución de 10.767 ha a 9.270 ha y en el 2001 a 2010 una tasa de aumento de 0,8% debido a la ganancia de más de 700 ha (9.974 ha). En la comparación entre décadas, para los años más extremos (1991 – 2010) se obtuvo en total una pérdida de 0,4% equivalentes a 793 ha. Para el periodo de dos años (2010 y 2012) la tasa de deforestación arrojó valores de pérdida del 1,41% por las 70 ha que disminuyeron en los bosques ubicados en los Cerros Orientales y Sumapaz. Los periodos de tiempo evaluados dan un estimado de tasa de pérdida del bosque entre 35-39 ha/año para el Distrito Capital.

La mayor presión de deforestación se presenta hacia las zonas de bordes de bosque, donde se ha observado la disminución de esta cobertura por la presencia de sistemas productivos y en algunos casos de matorrales (Figura 12). En el caso de los Cerros Orientales, se han perdido algunos parches en Chapinero y Usaquén, así como en las zonas de los bordes de las localidades de Santa Fe, San Cristóbal y Usme (zonas de color rojo en la figura 12). Por su parte en los bosques de Sumapaz, la pérdida se presentó tanto en los bordes como al interior, fragmentando los parches que tenían mayor tamaño, aunque como se mencionó anteriormente, otras zonas se han recuperado.

CÁLCULO DE LA REPRESENTATIVIDAD

El análisis de representatividad partió de la distribución del Sistema de Áreas Protegidas de la Estructura Ecológica Principal y se evaluó siguiendo lo propuesto por BIOSIG-UN (2010).

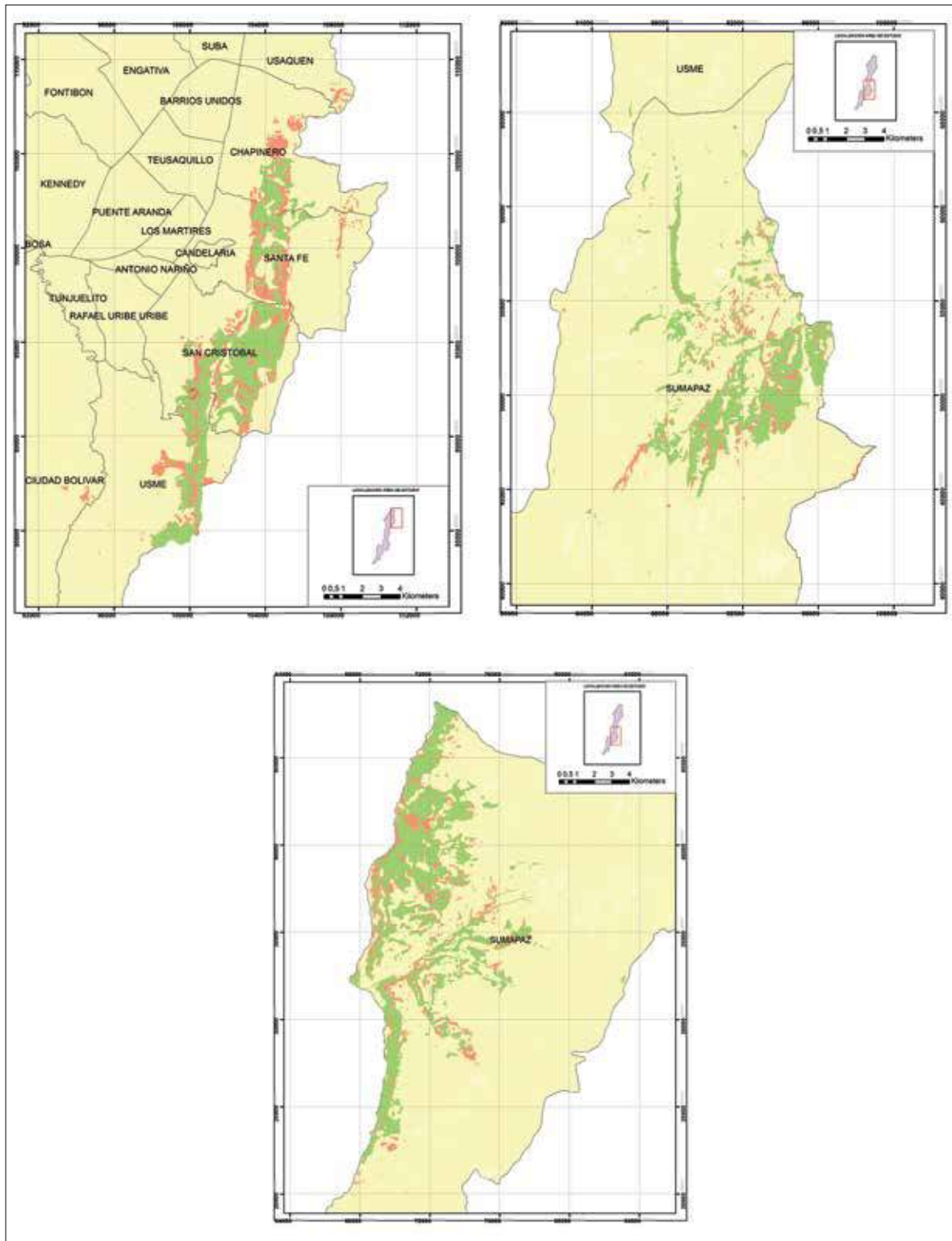


Figura 12. Zonas de mayor presión por deforestación para los años 1991 (en rojo) y 2010 (en verde) para los Cerros Orientales y los parches del sur oriente (La Playa) y sur occidente (San Juan).

De un total de 163.661 ha que componen el Distrito, 78.655 (48,1%) están bajo alguna categoría de protección, siendo las áreas protegidas más grandes el PNN Sumapaz y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental. Es de anotar que no toda el área definida en la Estructura Ecológica Principal se encuentra incluida bajo el criterio de área protegida declarada con el fin de alcanzar objetivos específicos de conservación (ver Andrade *et al.* 2009).

Los páramos y bosques presentan un alto porcentaje de protección (70); dentro de estos también se encuentran altamente protegidos los cuerpos de agua y las zonas de mosaicos de plantaciones y bosques y de forma baja las

zonas subxerofíticas (10,5). Dentro de las áreas de protección se pueden encontrar las zonas de mosaicos de vegetación exótica y bosques, las plantaciones y un 32,55% de pastos y cultivos (Tabla 7) (Figura 13).

En este caso se evaluó la representatividad considerando un 10 y 20; en todos los casos la representatividad es alta exceptuando las zonas con cobertura subxerofítica, que presentaron valores bajos de representatividad, en especial con metas del 20, y que representa un tipo de ecosistema único en Bogotá que se extiende hasta Soacha, el cual necesita acciones de manejo urgentes según la tasa de pérdida reportada en el presente trabajo.

Tabla 7. Cuantificación del área de protección para las coberturas y su representatividad para el año 2012.

COBERTURA	REPRESENTATIVIDAD				
	TOTAL (HA)	PROTEGIDO (HA)	PROTEGIDO	10	20
Páramos	63.853,49	44.403,67	69,54	6,95	3,48
Bosque	9.904,62	7251,93	73,22	7,32	3,66
Mixto	4.453,96	3.973,29	89,21	8,92	4,46
Cuerpos de agua	275,77	246,65	89,44	8,94	4,47
Matorrales	8.284,67	5.148,29	62,14	6,21	3,11
Subxerofítico	1.319,59	138,62	10,50	1,05	0,53
Cultivos y pastos	39.931,59	13.006,31	32,57	-	-
Plantaciones	986,48	753,34	76,37	7,64	3,82

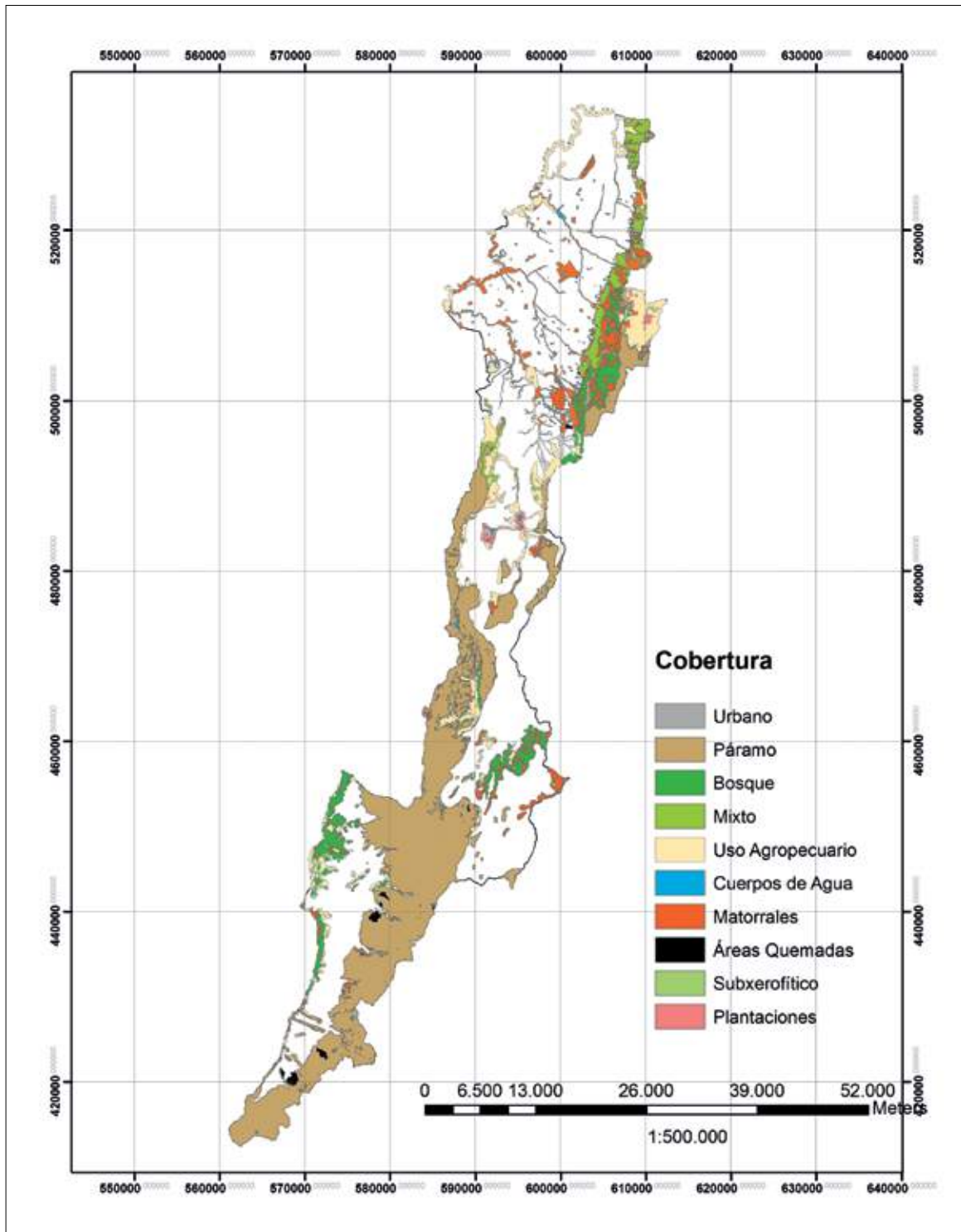


Figura 13. Cobertura presente para el año 2012 en la Estructura Ecológica Principal, Bogotá Distrito Capital.

A photograph of a lush, green stream bed. The water is clear, revealing a bed of smooth, brownish-yellow rocks. Large, vibrant green ferns and other foliage grow along the banks, their reflections visible in the water. The scene is peaceful and natural.

4. SÍNTESIS DE RESULTADOS

FOTO: VILMA JAIMES
Quebrada La Vieja, Cerros Orientales



SÍNTESIS DE RESULTADOS

MÉTRICAS DE COMPOSICIÓN Y CONFIGURACIÓN

Las métricas de tamaño dan una idea del comportamiento general de los parches, centrándose especialmente en la variación en los tamaños (MacGarigal *et al.* 2012). Para este caso, los tamaños promedio arrojaron valores bajos, debido a la gran cantidad de parches pequeños y a la presencia de unos pocos de tamaño grande. La cobertura con tamaños mayores fue la de páramo, pero se evidencia su variación reflejada en la desviación estándar.

Los bosques por su parte presentaron valores bajos de tamaño de parche aunque su variación no fue tan amplia como en los páramos, lo que indica que en esta cobertura hay mayor cantidad de parches pequeños, lo cual se evidenció posteriormente con otros análisis de pérdida de coberturas y fragmentación en ventanas por grandes sectores de bosque.

En cuanto al número de parches, a nivel general se presenta la mayor cantidad en las coberturas de sistemas productivos y matorrales, y en menor proporción en bosques y páramos, lo cual inicialmente refleja el grado de fragmentación de las coberturas en la zona. Lo ideal sería que existiera una menor cantidad de parches, propios del patrón natural que ocurre entre ellos y con tamaños grandes y poco variables (MacGarigal *et al.* 2012), que mantienen una elevada permeabilidad biológica, ya que mantienen mosaicos de paisaje que poseen potencial como áreas de interés conector, generalmente constituidas por una serie de hábitats naturales y seminaturales

que garantizan una conectividad estructural y funcional (Gurrutxaga 2004). Por su parte las métricas de forma indican una tendencia a la homogenización de las coberturas, porque dominan formas más simples, como cuadros y círculos o formas más complejas propias de las coberturas naturales (MacGarigal *et al.* 2012). Para la zona de estudio, en su mayoría las formas son más irregulares debido especialmente a la topografía, aunque los páramos presentaron los mayores valores.

La cobertura vegetal que domina en el Distrito son los páramos, presentes en especial al sur de Bogotá en el Parque Nacional Sumapaz, con algunos parches cercanos a los Cerros Orientales, que corresponden a los parches de mayor tamaño, superando las 50.000 ha. En general, se reportaron tres parches de gran tamaño en los sectores de Sumapaz, El Verjón y en Ciudad Bolívar, con varios parches pequeños, menores a 10 ha y separados generalmente por sistemas productivos. Otro grupo de parche se ubica dentro del rango de las 90 a 120 ha. La gran cantidad de parches pequeños, indica que se presenta una dinámica de intervención alta -específicamente hacia los bordes- donde existen sistemas productivos y muchas zonas de quemadas (en especial en el año 1991), que son destinadas en su mayoría a cultivos de papa y que separan la conectividad de la cobertura. Estas actividades denotan una variación en los tamaños para los tres años, pasando de 65.200 ha en 1991 a 63.000 en el 2010, con una disminución mayor en el 2001 (6,71%), con

posterior aumento de 2.176 ha (3,45%) en el 2010 y una disminución para el 2012.

Después de los páramos, la cobertura que predomina son los cultivos y los pastos, con los parches más grandes ubicados en el borde norte y en la zona rural de Usme; por un lado se han aumentado los sistemas productivos en algunas zonas de páramo, pero en las zonas de Usme, borde norte y al occidente de la ciudad ha decrecido debido al aumento del borde urbano de Bogotá. También se presentó un aumento de los sistemas productivos en las zonas de bosque de Sumapaz al suroriente y suroccidente del Distrito Capital, llegando incluso a dividir los grandes parches de bosques que existían. En el sector más oriental del cerro de Monserrate, continúa la fragmentación causada por la expansión de la frontera agrícola, sobre todo para los sectores del Verjón Alto y Bajo. Esta tendencia también la evidenció Correa (2007) en el estudio de cambios en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá para los años 1970 a 2000. En el sector del occidente de la ciudad se observó la separación del parche inicial por el aumento de la pista del aeropuerto, que lo dividió en dos de menor tamaño.

En menor medida los bosques han presentado una disminución en área, con una pérdida total de 793 ha desde 1991 hasta el 2010 para toda la zona de Bogotá. Los parches de mayor tamaño se ubicaron en los Cerros Orientales y en dos bloques al sur, en la localidad de Sumapaz, los cuales han tenido una alta dinámica en cambio de coberturas para dar paso a matorrales o sistemas productivos. Sobre estos bloques también se presentó evidencia de quemadas. Para el 2010 el parche más grande corresponde al ubicado al suroccidente de Bogotá, en el sector de San Juan, seguido de los Cerros Orientales y el parche ubicado al oriente de Sumapaz, sector de río La Playa. Para los años 2001 y 1991 el parche de los Cerros Orientales es el más pequeño, sin embargo, es el que mayor conectividad presenta, separado en algunas

ocasiones por zonas de matorrales. La mayor fragmentación ha ocurrido en los bosques de Sumapaz y aunque en el sector de La Playa los sectores afectados dieron paso a recuperación de bosque secundarios, como se pudo verificar en campo, es preocupante la degradación que se pueda presentar en ellos por efectos directos de la fragmentación, ya que son los únicos remanentes naturales del Distrito que presentan mayor probabilidad de conectividad (BIOSIG_UN 2010).

Los tres sectores grandes de bosque reportados presentan parches más pequeños alrededor, que sumado al cambio de los tamaños dado por la separación de la continuidad de las coberturas, denota la elevada fragmentación que hay al interior de ellos. En especial en el parche del sector de La Playa en Sumapaz, según los análisis y observaciones de verificación en campo, se ha presentado un aumento en el tamaño, dado por algunas actividades de regeneración que se han facilitado en la zona, lo cual ha dado paso a zonas de matorrales del año 1991 a 2001 y en el 2010 a bosques secundarios con coberturas cerradas. Los matorrales aumentaron aproximadamente 9.000 ha para el 2001, pero disminuyeron 7.000 ha en el 2010, con un tamaño máximo de 843 ha para 1991 y 1.550 y 1.404 ha para el 2001 y 2010 respectivamente. Esta cobertura se ha mantenido cambiante por las actividades de intervención y regeneración, así como por la ocurrencia de quemadas.

Por otro lado, la cobertura mixta de plantaciones y bosques que se diferencian en los Cerros Orientales, presentó tamaños entre 4.500 a 5.000 ha, disminuyendo un 0,1% en el 2001 y un 0,2% en el 2010. Los dos parches más grandes se ubicaron en la vertiente occidental que mira a la ciudad, que para el año 1991 presentaron 2.733 y 1.066 ha y en el 2001 el más grande disminuyó a 1.956 ha; para el 2010 se observan los mismos parches de 1991, que disminuyen en área con 1.653 y 1.030 ha y presentan una dinámica de cambio al mezclarse



con las coberturas de bosque nativo, lo que dificulta su diferenciación en las imágenes. En este caso, existen parches grandes que se fragmentan por la desaparición de pequeñas áreas lo que ocasiona la disminución en los tamaños más grandes. Vale a pena resaltar, por su significativa importancia, la cerca de 5.600 ha distribuidas en 57 predios, de propiedad y protegidas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

Los cuerpos de agua se diferenciaron mejor en las imágenes de satélite debido a que se han visto favorecidos por los planes de limpieza de los espejos de agua que se han dado para algunos humedales, pero también hay que recordar por dicha razón aumentó su extensión a través de los años pasando de 202 a 268 ha. Los cuerpos de agua más grandes corresponden a los embalses de La Regadera y Chisacá.

En cuanto a las áreas quemadas, todas ocurrieron en zonas de páramo, y alcanzaron gran tamaño (3.783, 2.058 y 1.057 ha para los años 1991, 2001 y 2010, respectivamente). En el año 91, se presentó una elevada cantidad de quemaduras causando perturbaciones, las cuales es difícil determinar si dieron paso a agricultura ya que en años posteriores aparecen en las imágenes como zonas de páramo. También hay que considerar incendios naturales considerando el verano intenso que ocurrió ese año por el Fenómeno del Niño. Los parches más grandes llegaron a reportar una quema de 360 ha en el 2010, y gran cantidad de parches pequeños. Esta perturbación, es un elemento preocupante que afecta la conservación de los páramos.

Otra de las coberturas que se ha visto altamente afectada es la del enclave subxerofítico en Ciudad Bolívar, que pasó de 2.231 en 1991 a 1.510 ha en el 2001, 1.394 en el 2010 y 1.319 en el 2012, dando paso a sistemas productivos. Los polígonos de mayor tamaño pasaron de 2.166 ha a 546 en el 2010 y 2012, y se reportó la mayoría de ellos menores a 10 ha los cuales han

aumentado denotando el proceso de separación de las coberturas que se ha dado.

La cobertura vegetal ya relictual en el Distrito corresponde a un mosaico de ecosistemas subxerofitos de matorrales, pastizales subxerofitos y bosques ribereños ubicados en los tributarios que aportan al río Tunjuelo. Esta cobertura, presentó valores bajos de representatividad en el Sistema de Áreas Protegidas del Distrito, con el agravante de que el enclave subxerofítico, única cobertura con baja representatividad en este sistema, es un tipo de ecosistema único en Bogotá que se extiende hacia Soacha, en un sector donde la presiones por urbanización y por explotación del parque minero y otras canteras en el sur hacen necesarias acciones urgentes de manejo. Es la única cobertura con baja representatividad en el Sistema de Áreas Protegidas.

En las plantaciones de pino y eucalipto el aumento en el número de parches se dio por el crecimiento y colonización de nuevas áreas, especialmente en Regadera y Chisacá, que pasaron de zonas de matorrales a árboles más grandes; sin embargo, por razones de resolución en la imagen no se pudo discriminar de aquellos con matorrales de vegetación nativa.

Las métricas de forma permiten conocer la tendencia de los parches bajo el supuesto teórico de que los sistemas productivos presentan formas más simples y homogéneas como cuadros y rectángulos, y que las coberturas naturales tienen formas irregulares. Los valores para los cuatro años evaluados fueron mayores a 7%, siendo 1991 el más alto con un valor de 9,91%. En especial los páramos mostraron su tendencia a tener formas más irregulares que muestran una mayor continuidad e integridad, aunque en el 2012 disminuyó el valor del índice y en años anteriores presentó, para 1991 un valor de 16%, y en el 2001 un decrecimiento a 7,6%.

Para las coberturas de cultivos y pastos las formas tienden a ser más irregulares por esto los altos valores de índice de forma, también influidos por la topografía irregular del terreno ajustándose a las formas originales de los páramos y los bosques que existían anteriormente, lo que denota cómo la intervención ha ido avanzando de forma progresiva hacia el páramo, fragmentando las coberturas nativas.

Los bosques arrojaron valores intermedios entre 5% y 6% también tendientes a la irregularidad con mayor decrecimiento para el 2001 cuando se presentaron mayor cantidad de matorrales al interior de los bosques. Las zonas subxerofíticas han decrecido notablemente; la desaparición de esta cobertura por pastos la ha llevado a tomar formas más cuadradas y de menor tamaño.



5. DISCUSIÓN

FOTO: VILMA JAIMES
Nacimiento del río Tunjuelo



DISCUSIÓN

Para las métricas a nivel de clase calculadas con el software Fragstats, se evaluó el comportamiento de las coberturas en términos de forma y tamaño. Según los tamaños y sus métricas, en general en el área se presenta un tamaño de parche pequeño, influido por la gran cantidad de manchas que ocurren especialmente en las zonas intervenidas.

Los tamaños promedio fueron bajos, sin embargo muchos de ellos, como en el caso de los páramos, presentan variaciones grandes por la presencia de parches continuos muy grandes. Las demás coberturas presentaron tamaños promedio bajos con valores de desviación estándar menores, indicando que la tendencia es a la presencia de áreas pequeñas.

Aunque se presentaron pocos cambios en los tamaños de las coberturas entre los años 2010 y 2012, los páramos han presentado un decrecimiento respecto al reporte para 1991; la tendencia de los páramos es al descenso en su extensión ya que si bien han disminuido las quemadas, ha sido evidente el avance de la frontera agrícola. En especial se redujeron las áreas quemadas pasando de 3.783 ha en 1991 a 91 ha en 2012. Adicionalmente, dado que estas quemadas ocurren en páramos, es necesario evaluar los cambios en la composición de la vegetación posterior al fuego, para evidenciar no solo los cambios en los sistemas productivos sino también en la composición original de las comunidades después de dicho disturbio.

Los cultivos y pastos igualmente han fluctuado por el efecto del aumento del suelo urbano,

pasando de 41.500 ha en 1991 a 39.931 ha en el 2012. Con relación al año 2010 se presentó un aumento en área de cerca de 500 ha.

En trabajos previos realizados en la zona, los resultados de Correa (2008) y BIOSIG-UN (2010) registraron 9.193 ha de bosque alto andino y 10.474 ha de bosque denso, de acuerdo a la categoría propuesta por Correa. En el presente caso en el año 2010 se presentaron 9.974 ha ya que se incluyeron todos los bosques por debajo de los 3.500 m y se tomó toda cobertura que por textura y respuesta espectral correspondiera a bosques. Estas diferencias se deben a que en el sector de Cerros Orientales los trabajos anteriores emplearon imágenes del sensor Spot (2009) y Quickbird (2009 y 2010), los cuales tienen mayor resolución espacial y permite diferenciar con mayor detalle las coberturas.

En el año 2005 y 2006 el Jardín Botánico de Bogotá realizó estudios en los tipos de vegetación relictuales de matorrales y pastizales subxerófitos y bosques ribereños (Cortes 2008). Para la cuenca media del río Tunjuelo se encontraron más de ocho comunidades vegetales que hacen parte de una comunidad transitoria producto de la regeneración de bosques bajos mejor conservados que debieron existir en la zona. Los pastizales naturales y pajonales se extienden sobre escarpes y suelos poco profundos, especialmente en la parte norte y centro de la cuenca media del río Tunjuelo, con relación a áreas muy afectadas por el efecto secante de los vientos. Los bosques riparios ya casi desaparecidos de la ronda del



río Tunjuelo, se presentan a manera de parches y angostos corredores discontinuos, en algunos casos conectando cursos de afluentes menores (Correa, 2008). Para los bosques riparios evaluados con las imágenes Landsat, muchas veces la resolución de este sensor impide clasificarlos por lo reducido de su cobertura.

Los ecosistemas subxerófitos apenas se presentan como relictuales, y están reducidos tan solo a 1319,6 ha en la cuenca media del río Tunjuelo. De acuerdo con Cortes (2008) se considera un ecosistema producto de la recuperación secundaria en tierras abandonadas por la minería y la agricultura, y preocupa el avance de los procesos de ampliación de las zonas con suelos degradados -desertificación-, que se favorece por la erosión eólica, el lavado de los suelos, la alta radiación solar y el aumento local de temperatura por efectos de tipo micro y mesoclimáticos por la cercanía de zonas duras tipo pavimento, ladrillo, metal, plástico y otras que pueden estar extendiendo el límite normal del clima semiárido y semihúmedo de la localidad de Ciudad Bolívar y el límite con la localidad de Usme.

Por otra parte los ecosistemas subxerófitos, desde el conocimiento de la flora y fauna, presentan enorme interés desde la perspectiva de su conservación y biodiversidad; de acuerdo con Rivera (2004), los estudios florísticos de los pastizales propios de las zonas montañosas secas del país han tenido escaso desarrollo, debido a que la atención se ha centrado en el análisis de la cobertura forestal y estos pastizales pasan desapercibidos o se consideran vinculados a tierras erosionadas con poco valor. Este trabajo logra delimitar, gracias a la aplicación de sensores remotos y a un intenso trabajo de campo, este tipo de cobertura que no se registraba en los mapas de vegetación para el Distrito Capital.

ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE COBERTURA EN BOSQUES

En los años anteriormente evaluados se obtuvo una tasa de deforestación para el periodo de 1991 a 2001 con un valor de pérdida de cobertura de bosque (1,49%) por la disminución de 10.767 ha a 9.270 ha, y en el 2001 a 2010 una tasa de aumento de 0,8% por la ganancia de más de 700 ha (9.974 ha). Para los años más extremos (1991-2010) se obtuvo en total una pérdida de 0,4%, equivalentes a 793 ha. Luego, en un periodo de dos años (2010 y 2012), la tasa arrojó valores de pérdida del 1,41% por las 69,45 ha que disminuyeron en los bosques en los Cerros Orientales y Sumapaz. Los periodos de tiempo evaluados dan un estimado de tasa de pérdida de bosque entre 35-39 ha/año para el Distrito Capital.

Al analizar todo el lapso de tiempo evaluado, los bosques presentan tendencia a decrecer, en especial por las actividades productivas nombradas anteriormente en los núcleos del sur de Bogotá en Sumapaz. Estos bosques presentan una pérdida considerable y aumento del borde, con introducción de matorrales, que en el caso de los Cerros Orientales están dando paso a invasión de especies exóticas de retamo que degradan los bosques nativos y las condiciones propias de estos. Por su parte los parches que se encuentran al sur, en Sumapaz, son de gran importancia ya que no albergan especies exóticas como es el caso de los Cerros y presentan tamaños de parches grandes, convirtiéndose en el único remanente de bosque nativo del Distrito. Así como se ha insistido por tener un buen manejo en las zonas de bosque oriental, se deben mejorar las acciones de manejo en estos bosques para disminuir la intrusión de usos y el deterioro de los mismos, en especial por factores bióticos y abióticos que el efecto de borde puede incluir en ellos, como por ejemplo, los cambios que se evidencian



con el incremento de matorrales influenciados por la cobertura de especies invasoras exóticas como el retamo espinoso *Ulex europaeus* o el aumento de procesos de “paramización” como los registrados en Cerros Orientales para el sector de Los Soches en la localidad de Usme (BIOSIG-UN, 2010).

Los remanentes boscosos presentes en el Distrito Capital se concentran en la localidad de Sumapaz, entre los sitios La Playa y San Juan y en los Cerros Orientales, y a su vez presentaron diferencias en fragmentación, siendo el núcleo de los Cerros Orientales el sector que presenta mayor grado de fragmentación. Igualmente, los bosques altoandinos del Distrito Capital, en conjunto, presentan un considerable nivel de fragmentación y no están uniformemente distribuidos a lo largo de todo el Distrito, por lo tanto la funcionalidad en procesos ecológicos puede afectar su capacidad en el largo plazo.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) a través del Programa de Monitoreo de Deforestación estableció que la tasa de pérdida de bosque natural en Colombia, entre los años 2005-2010, fue de 238.273 mil hectáreas/año las cuales incluyen ecosistemas de bosques naturales, manglares y vegetación secundaria, aunque durante los años 2011-2012 se redujo a 147.946 ha. De acuerdo con estos registros, Colombia perdió en total durante los años 2011 y 2012, 295.892 hectáreas de bosque natural. La reducción en la tasa de deforestación está en cerca de 90 mil hectáreas/año, lo que equivale a un 39% menos comparado con el periodo 2005-2010, aunque los resultados muestran que la tasa promedio anual sigue siendo alta (<http://www.minambiente.gov.co/portal/default.aspx>).

Es importante resaltar que los resultados nos muestran deterioro sobre los páramos, al igual que en los bosques y esta pérdida no solo

significa la pérdida de los recursos forestales o vegetación de páramo, sino que también implica impactos negativos en suelos, agua, diversidad biológica y clima, debido a las estrechas relaciones que existen entre las coberturas arbóreas y los demás recursos señalados, y aún más preocupante, por las estrechas relaciones de estos ecosistemas con la regulación hídrica.

ANÁLISIS DE REPRESENTATIVIDAD DE LAS COBERTURAS

Los análisis de representatividad ecosistémica, a partir de las coberturas en los sistemas de áreas protegidas, han tenido diferentes aproximaciones y sobre todo se han propuesto diferentes metas de conservación alrededor del mundo. Tradicionalmente se ha considerado que si un elemento de la biodiversidad se encuentra presente en las áreas protegidas en un porcentaje que oscila entre el 10 y el 12, éste está bien representado (Armenteras *et al.* 2003; BIOSIG-UN, 2010). Los resultados que se encontraron en este estudio mostraron que en todos los casos la representatividad es alta exceptuando las zonas con cobertura subxerofítica, que presentaron valores bajos. De acuerdo con la evaluación realizada, casi la mitad del suelo del Distrito tiene alguna categoría de manejo como estrategia de conservación, siendo las áreas protegidas más grandes el PNN Sumapaz y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental. Sin embargo, el análisis de representatividad no debe verse como única forma de acercarse a evaluar un buen estado de conservación, ya que como se pudo observar, los índices de fragmentación revelaron que el área estudiada presenta una elevada separación e intervención de las coberturas, que en muchos casos no favorecen la conectividad y la integridad de los ecosistemas.

Por otro lado, respecto al estado de conservación de las áreas protegidas, al interior de éstas se presentan una gran cantidad de usos agropecuarios, llegando en algunos casos a ser

la mayoría del área cubierta, como en el caso del área forestal distrital corredor de Restauración de La Requilina (Funambiente 2010), donde claramente se deben realizar acciones de “restauración” para que la conservación en esas zonas sea efectiva. De igual manera, y aún más preocupante, es la presencia de usos agropecuarios en zonas de páramo donde están prohibidas estas actividades antrópicas como en el caso de la Reserva Forestal de Cerros Orientales o el PNN Sumapaz, que reportan gran cantidad de incendios y siembras de papa.

Queda nuevamente establecido con este estudio que la declaración de áreas protegidas como único elemento de gestión de la conservación no garantizan su protección. Como lo menciona Andrade *et al.* (2013), una integración eficiente de la creación y gestión de la EEP en la ciudad de Bogotá con la de la ciudad región requerirá un cambio en enfoque de la planificación del paisaje urbano, desde un enfoque estructural y funcional a un paradigma del diseño en el paisaje (Nassauer y Opdam, 2008 citado por Andrade *et al.* 2013); la integración de los componentes naturales y construidos son clave para la construcción de un paisaje urbano regional a los cambios ambientales. Este proceso ayudará a proporcionar a la sociedad el tiempo para prepararse y resistir los cambios por variabilidad climática que ya se están presentando.

El enfoque metodológico empleado en este estudio puede ser insuficiente para determinados

ecosistemas como vegetación subxerofítica y bosques (que requieren de mayor porcentaje de protección), ya que no define prioridades de conservación ni de lineamientos para su diseño, sin embargo permite una aproximación al estado de conservación de sistemas de áreas protegidas, es de fácil construcción y puede ser monitoreado en el tiempo con datos de las coberturas, como el realizado en el presente trabajo.

Los resultados enfatizan sobre el deber de las entidades nacionales y distritales de conservar con fortaleza los fragmentos de bosque remanentes, además de complementar y reforzar las actividades de protección de ecosistemas no representados, como el caso de la vegetación subxerofítica y la necesidad de realizar acciones de restauración y erradicación de especies exóticas que permitan la verdadera conservación de los ecosistemas.

Así, sugerimos y planteamos la necesidad de monitorear y cuantificar claramente las tasas de deforestación y el cambio en el uso de suelo. Realizar el seguimiento de ventanas priorizadas a escalas más detalladas ayudará a identificar información específica importante para la toma de decisiones locales, por ejemplo la protección de áreas de recarga para los acueductos veredales, sectores con cambios frecuentes en la coberturas vegetales por cambios en el uso de la tierra, comportamientos de aumento de las áreas con especies invasoras, entre otras.





ANEXO

FOTO: DAVID ZÚNIGA



ANEXO 1

ZONAS DE PÉRDIDA DE BOSQUES ENTRE 2010 Y 2012 EN CERROS ORIENTALES Y SUMAPAZ

Los bosques decrecieron 69 ha en las zonas de Sumapaz y Cerros Orientales, al igual que la mezcla de especies exóticas con bosque nativos con 107 ha y las zonas subxerofíticas con 75 ha.

Las 69,45 ha de bosques que se perdieron, se presentaron en un sector de Cerros Orientales y en los bosques de Sumapaz. Estas áreas dieron paso a sistemas productivos y a matorrales (Figura 14).

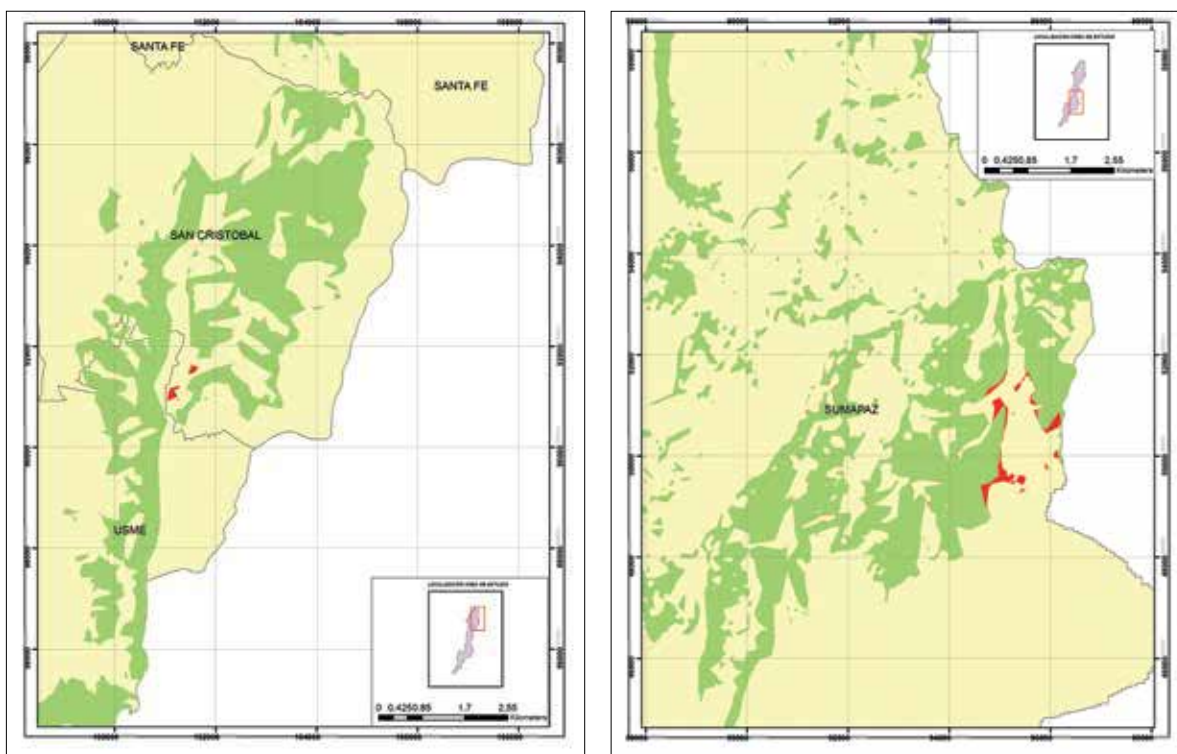


Figura 14. Detalles de la Zonas de pérdida de bosques entre 2010 y 2012 (en rojo) para los sectores de Cerros Orientales y Sumapaz.



BIBLIOGRAFÍA

- Andrade P. G. I., C. Barrero, E. Valenzuela y J. M. Pinzón. 2009. Áreas Protegidas para Bogotá. Una tipología enfocada en la gestión de la conservación. *Revista Pérez Arbelaezia* 20 (1): 37-60.
- Andrade P. G. I., F. Remolina y D. Wiesner. 2013. Assembling the pieces: a framework for the integration of multi-functional ecological main structure in the emerging urban region of Bogotá, Colombia. *Urban Ecosystems-Springer* [on line]. 2013 [consulta el 19 de agosto de 2013]; Vol 16/2013. Disponible en: <http://www.link.springer.com/journal/11252>.
- Armenteras, D., F. Gast y H. Villarreal. 2003. Andean forest fragmentation and the representativeness in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation* 113: 245-256.
- BIOSIG-UN. 2010. Informe final. Contrato Interadministrativo No 1012-08. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia y Jardín Botánico de Bogotá.
- Cabrera, E. y D. Ramírez. 2007. Estado actual y cambio en los ecosistemas en los Andes colombianos. 1985-2005. Pp. 39-63. En: Armenteras, D y N. Rodríguez. (Eds.) 2007. Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985-2005: Síntesis y perspectivas. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 174 pp.
- Correa, C. 2007. Análisis del cambio en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en los últimos 40 años. *Revista Pérez Arbelaezia* 18 (1): 89-106.
- Correa, C. 2008. "Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo". *Revista Pérez Arbelaezia* 19 (2):117-141.
- Cortés, S.S.P. 2008. Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo. *Revista Pérez Arbelaezia* 19 (2): 85-114.
- Chuvieco, E. 2006. Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Ariel.
- Defries, R. S., M. C. Hansen, J. R. G. Townshend, A. C. Janetos y T. R. Loveland. 2001. "A New Global 1-Km Dataset of Percentage Tree Cover Derived from Remote Sensing". *Global Change Biology* 16 (2): 247-254.
- Dinerstein, E., D. M. Olson, D. H. Graham, A. L. Webster, S. A. Primm, M. P. Bookbinder, y G. Ledec, 1995. Una evaluación del estado de conservación de las ecorregiones terrestres de América Latina y el Caribe. Washington D.C.: World Wildlife Fund y World Bank.
- Fonseca C. y F. Joner. 2007. "Two-Sided Edge Effect Studies and the Restoration of Endangered Ecosystems". *Restoration Ecology* 15: 613-619.
- Forman, R. T. T. 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge: Cambridge University Press.
- Funambiente. Corporación Salvemos el Medio Ambiente. 2010. Formulación de lineamientos ambientales de conectividad de la operación estratégica Nuevo Usme como propuesta piloto en el sector de borde urbano rural.



- Informe Técnico. Convenio 1143 de 2009 Secretaría de Ambiente de Bogotá.
- Gurrutxaga San Vicente, M. 2004. Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial. Primera edición. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Informes técnicos 103.
- IDEAM. 2011. Ejercicio de estimación preliminar de la tasa de deforestación para Colombia periodo 2000-2007. Proyecto “Capacidad Institucional Técnica Científica para apoyar Proyectos REDD: Reducción de Emisiones por Deforestación en Colombia”. Informe Ejecutivo.
- Kattán, G. 2001. “Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies”. Pp: 561-589. En: Ecología y conservación de bosques neotropicales. Guariguata M. R. y G. H. Kattán (Eds.). Cartago: Libro Universitario Regional.
- Leadley, P., H. M. Pereira, R. Alkemade, J. F. Fernandez-Manjarrés, V. Proença, J. P. W. Scharlemann y M. J. Walpole. 2010. Escenarios de biodiversidad: proyecciones del siglo XXI a los cambios de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica, Montreal. Serie Técnica Número 50, 55 pp.
- Legendre, P. y L. Legendre. 1998. Numerical ecology. Elsevier, Amsterdam.
- Lovejoy, T. E., R. O. Bierregaard Jr., A. B. Rylands, J. R. Malcolm, C. E. Quintela, L. H. Harper, K. S. Brown Jr., A. H. Powell, G. V. N. Powell, H. O. R. Schubart y M. B. Hays. 1986. Edge and other Effects of Isolation on Amazon Forest Fragments. Pp: 257-285 En: Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity. Soulé, M. (Ed.). Sunderland, Mass.: Sinauer Associates Inc.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2012. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). 138 pp.
- MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2011. [consulta el 02 de septiembre de 2013]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/portal/default.aspx>
- McGarigal, K. y B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: Spatial Analyses Program for Quantifying Landscape Structure. Portland, OR.: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel y E. Ene. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel y E. Ene. 2012. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- Murcia, C. 1995. “Edge Effects in Fragmented Forest Implications for Conservation”. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.
- Phillips, J. F. y D. A. Navarrete. 2009. Análisis de fragmentación y conectividad. Informe Final. Unión Temporal Rastrojo a Escala Humana-INSAT. Secretaría de Ambiente. Bogotá
- Pressey, R. L., G. L. Whish, T. W. Barrett y M. E. Watts. 2002. Effectiveness of Protected Areas in North-Eastern New South Wales: Recent Trends in Six Measures. *Biological Conservation* 106: 57-69.
- Posada, E. 2008. Manual del procesamiento digital de imágenes. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.



- Puyravaud, J. P. 2003. Short Communication: Standardizing the Calculation of the Annual Rate of Deforestation. *Forest Ecology and Management* 177: 593-596.
- Remolina, F. 2007. Procesos de fragmentación en los Cerros Orientales de Bogotá. Informe final contrato de prestación de servicios No. 144 DE 2006. Jardín Botánico de Bogotá.
- Ries L., R. Fletcher, J. Battin y T. Sisk. 2004. "Ecological Responses to Habitat Edges: Mechanisms, Models, and Variability Explained". *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 491-522.
- Rivera, O. D., O. Rangel-CH. e I. Soriano. 2004. Pastizales xerófilos del municipio de Ubaque y norte del altiplano de Bogotá. Pp. 156-191. En: Rangel-Ch., J.O, J. Aguirre-C., M.G. Andrade-C. y D. Giraldo-Cañas (Eds.). Memorias VIII Congreso Latinoamericano y II Colombiano de Botánica, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Sánchez-Cuervo A. M., Aide T. M., Clark M. L., Etter A. 2012. Land Cover Change in Colombia: Surprising Forest Recovery Trends between 2001 and 2010. *PLoS ONE* 7(8): e43943. doi:10.1371/journal.pone.0043943
- Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación Internacional. 2010. Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital. Editorial Panamericana, Formas e Impresos. Bogotá, Colombia. 116 pp.
- Sguerra, S., P. Bejarano, O. Rodríguez, J. Blanco, O. Jaramillo, G. Sanclemente. 2011. Corredor de conservación Chingaza - Sumapaz - Guerrero. Resultados del diseño y lineamientos de acción. Conservación Internacional Colombia y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP. Bogotá, Colombia. 184 pp.
- Stoms, D. 2000. Gap Management Status and Regional Indicators of Threats to Biodiversity. *Landscape Ecology* 15: 5-20.

