

PÉREZ ARBELAEZIA

18 - Diciembre de 2007

ISSN 0120-7717



Mutisia clematis L

Jardín Botánico de Bogotá
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ
1896 - 1972

Sacerdote - Investigador
Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

PÉREZ
ARBELÁEZIA

Publicación del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, dedicada a la memoria de su fundador, el doctor *Enrique Pérez Arbeláez*, quien consagró su vida a institucionalizar la tradición científica de Colombia y a fomentar la investigación, divulgación y defensa de nuestros recursos naturales.



Mutisia clematis L.

Planta ornamental nativa seleccionada como emblema del Jardín Botánico de Bogotá. Debe su nombre a la exaltación que el ilustre botánico *Linneo* quiso hacer en homenaje a *José Celestino Mutis*.

Es una planta trepadora con zarcillos, hojas tomentosas en tonalidades verde grisáceo y flores casi siempre pedunculares, que con su color rojo vivo atraen insectos y colibríes.



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D. C.**

Alcalde Mayor de Bogotá D. C.

Luis Eduardo Garzón

Jardín Botánico de Bogotá

«José Celestino Mutis»

Director

Rolando Higueta Rodríguez

Secretaria General

Angélica Díaz Ortiz

Jefe Oficina Asesor Jurídico

Camilo Andrés Páramo Zarta

Jefe Oficina Asesor de Control Interno

Eduardo Torres Duarte

Asesor de Planeación

Vladimir Forero Serrano

Subdirectora Científica

Claudia Córdoba García

Subdirector Técnico Operativo

Jorge Calderón Vargas

Subdirector Educativa y Cultural

Íverson Alfredo López Celis

PÉREZ ARBELAEZIA

Número 18 - Diciembre de 2007

Publicación Anual

PÉREZ - ARBELAEZIA

La revista *Pérez Arbelaezia* es la publicación científica anual del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Está dirigida a investigadores, estudiantes, científicos y a todas las personas interesadas en los temas que esta aborda.

Publica artículos científicos originales e inéditos que desarrollan temas de botánica, biología de especies y ecología de ecosistemas altoandinos; a la vez, abre el espacio para la presentación de ensayos, reflexiones, revisiones y conferencias que aportan al conocimiento de dichas disciplinas, así como de otras áreas misionales de la entidad tales como la arborización urbana, la agricultura urbana y la educación ambiental.

Comité Editorial

Rolando Higueta Rodríguez	Director
Claudia Córdoba	Subdirectora Científica
Íverson Alfredo López	Subdirector Educativo y Cultural
Santiago Madriñán Restrepo	Profesor. Departamento de Ciencias Biológicas Universidad de los Andes
Hernán Mauricio Romero	Profesor. Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia
Andrés Etter Rothlisberger	Profesor - Investigador Departamento de Biología y Territorio Universidad Javeriana

Editora

Patricia Jaramillo Martínez

Comité Científico



Alberto Gómez Mejía Presidente

Red Nacional de
Jardines Botánicos
de Colombia

Claudia Córdoba Subdirectora Científica

Jardín Botánico

Francisco Sánchez Asesor

Jardín Botánico

Gustavo Morales Coordinador Colecciones

Jardín Botánico

Ricardo Pacheco Investigador

Jardín Botánico

Rito Hernán Cardozo Investigador

Jardín Botánico

Técnico Operativo

Jardín Botánico

Sandra Cortés Investigadora

Jardín Botánico

Grupo de Árbitros

Luis Guillermo Baptiste Docente - Investigador

P. Universidad Javeriana

Olga María Bermúdez Coordinadora - Docente

Red Temática de

Educación Ambiental

IDEA-Universidad

Nacional de Colombia

Andrés Etter R. Docente - Investigador

Departamento de

Biología y Territorio

Universidad Javeriana

Luis G. Gutiérrez L. Docente

Universidad Tecnológica

de Pereira

Luz Adriana Mejía Arquitecta - Planificadora

Independiente

Carlos Javier Mosquera Rector (E)

Universidad Distrital

Francisco José de Caldas

Clara Inés Orozco Docente

Instituto de Ciencias

Naturales Universidad

Nacional de Colombia

Margarita Perea Docente

Universidad Nacional

de Colombia

Martha C. Quicazán Directora

Instituto de Ciencia y

Tecnología de

Alimentos-ICTA

Hernán M. Romero Docente - Investigador

Universidad Nacional de

Colombia

PÉREZ ARBELAEZIA

Publicación anual

© 2007 - Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

ISSN 0120-7717

*La reproducción total o parcial de un artículo debe citar la fuente.
Corresponde a los autores la total responsabilidad de las ideas, tesis
y conceptos emitidos en sus respectivos artículos.*

Coordinación general

Claudia Córdoba - Subdirectora Científica

Coordinación editorial

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

- Corrección:

Germán Ignacio Andrade Pérez

Juan Carlos Gómez Amaya

- Diseño y diagramación:

Bibiana Andrea Alturo M.

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia

Ilustración carátula

Alfonso Robledo Anzola - Arquitecto.

Logo Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Mutisia clematis L.

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. Calle 63 No. 68-95 / Teléfono: 437 7060 / Fax: 630 5075

www.jbb.gov.co

CONTENIDO

Presentación	8
Recorridos guiados y aprendizaje de los niños y niñas en el Jardín Botánico José Celestino Mutis.	
Paola Sierra Manrique	11
Germinación y desarrollo de plántulas de <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav. (Solanaceae) en el Jardín Botánico José Celestino Mutis, Bogotá, D.C. - Colombia.	
Pamela Tatiana Zúñiga / Ricardo Arturo Pacheco	33
Aplicación de dos técnicas de conservación de alimentos a frutos maduros de ají de clima frío. <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.	
María Eugenia Torres C. / Carlos Ernesto Garzón A.	47
Micropropagación de <i>Solanum muricatum</i> Alt. a partir del cultivo de semillas.	
Jaime R. Guzmán Castañeda / Belkys A. Pérez Martínez / Claudia P. González Rojas	61
Propagación vegetativa y sexual de <i>Saurauia scabra</i> (Kunth) D. Dietr., especie promisorio del bosque neotropical montano.	
Sergio Leonardo Córdoba Cárdenas	75
Análisis del cambio en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en los últimos 40 años.	
Camilo A. Correa Ayram	87
Escenarios vivos de aprendizaje: estrategia de divulgación y aplicación de la investigación científica con las comunidades.	
Alexander Delgado Tobón	105
Aporte voluntario para la arborización urbana en el impuesto de vehículos en Bogotá.	
Manuel José Amaya Arias / Paola Andrea Escobar / July Aparicio Cabrera / Julia Andrea Pérez Rojas / Yenny Valverde Niño / Vanessa Cortés Martínez / Germán Herreño Fierro.....	121
Germinación <i>in vitro</i> asimbiótica de semillas maduras de <i>Odontoglossum luteopurpureum</i> H.B.K., <i>Epidendrum cbioneum</i> , <i>Comparettia macroplectron</i> Poepp. & Endl. y <i>Epidendrum</i> aff. <i>portakalium</i> (Orchidaceae).	
Belkys Adriana Pérez Martínez	137
Reflexiones sobre la aplicación del Enfoque Ecosistémico para la conservación de la biodiversidad en la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia.	
C. Lorena Franco Vidal / Germán I. Andrade Pérez	151
Requerimientos de edición para la publicación de artículos en la revista.....	169

PRESENTACIÓN

Apreciado lector:

El Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis en su calidad de Centro de Investigación y Desarrollo Científico del Distrito Capital está comprometido con el Plan de Desarrollo «Bogotá sin indiferencia un compromiso social contra la pobreza y la exclusión» liderado por el Alcalde Luis Eduardo Garzón, el cual se concreta en el Jardín a través del Plan Estratégico que a su vez comprende una serie de proyectos que materializan el qué hacer institucional.

Con el fin de que la producción de conocimiento en el Jardín Botánico se armonice con el Plan de Desarrollo, además de la investigación pura se está trabajando en investigación aplicada con énfasis en los ecosistemas altoandinos, orientándola hacia las necesidades del Distrito y, por ende, de sus habitantes.

Durante el período 2004 – 2007 el Jardín ha tenido la mayor producción de conocimiento en su historia; parte de la cual nos complace presentar en este número de la revista *Pérez Arbelaez* cuya función esencial es la presentación a la comunidad científica y a los interesados, los resultados de las investigaciones realizadas por los científicos vinculados a la institución, aquellas producto de convenios, así como de entidades afines.

Es así como en el marco del proyecto «Procesos de educación y cultura para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad del Distrito Capital» a cargo de la Subdirección Educativa y Cultural publicamos el artículo Recorridos guiados y aprendizaje de los niños en el Jardín Botánico José Celestino Mutis, producto de la tesis de grado de la educadora Paola Sierra Manrique.

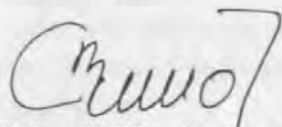
Dentro del marco del proyecto «Uso sostenible de los recursos vegetales del Distrito Capital y la región» la Subdirección Científica presenta los resultados de las investigaciones realizadas, con los siguientes artículos: «Germinación y desarrollo de plántulas de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. (Solanaceae)» en el Jardín Botánico José Celestino Mutis, Bogotá, D.C. – Colombia, de los investigadores Pamela Tatiana Zúñiga y Ricardo Arturo Pacheco Salamanca; «Aplicación de dos técnicas de conservación de alimentos a frutos maduros de

ají de clima frío *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.», producto del trabajo de María Eugenia Torres C. y Carlos Ernesto Garzón A.; «Micropropagación de *Solanum muricatum* Alt. a partir del cultivo de semillas» de Jaime R. Guzmán Castañeda, Belkys A. Pérez Martínez y Claudia P. González Rojas; «Germinación *in vitro* asimbiótica de semillas maduras de *Odontoglossum luteopurpureum* H.B.K., *Epidendrum chioneum*, *Comparettia macroplectron* Poepp. & Endl. y *Epidendrum* aff. *portakalium* (Orchidaceae)» de Belkys Adriana Pérez Martínez; y en el marco de un convenio con la Universidad Minuto de Dios el artículo «Propagación vegetativa y sexual de *Saurauia scabra* (Kunth) D. Dietr., especie promisorio del bosque neotropical montano» de Sergio Leonardo Córdoba Cárdenas.

En cuanto al «Proyecto conservación de la flora de bosque andino y páramo del Distrito Capital y la región» presentamos los artículos «Análisis del cambio en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en los últimos 40 años» producido por Camilo Correa Ayrán y «Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA: estrategia de divulgación y aplicación de la investigación científica con las comunidades» de Alexander Delgado Tobón.

De la Subdirección Técnica se presentan los resultados de la investigación realizada en el marco del censo del arbolado urbano en el artículo «Aporte voluntario para la arborización urbana en el impuesto de vehículos en Bogotá» producto de la investigación realizada por Manuel J. Amaya Arias, Paola A. Escobar, July Aparicio Cabrera, Julia A. Pérez Rojas, Yenny Valverde Niño, Vanessa Cortés Martínez y Germán Herreño Fierro.

Para finalizar presentamos el artículo «Reflexiones sobre la aplicación del enfoque ecosistémico para la conservación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia» de los investigadores Germán I. Andrade Pérez y Lorena Franco Vidal, de la Fundación Humedales, entidad con objetivos afines a los del Jardín.



Rolando Higuaita Rodríguez

Director

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Análisis del cambio en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en los últimos 40 años

Por

CAMILO A. CORREA AYRAM¹

Recibido: 17 de septiembre de 2007 / Aceptado: 22 de octubre de 2007

Resumen

En este estudio se hace un análisis cuantitativo de los cambios en las coberturas vegetales de los Cerros Orientales de Bogotá desde el año de 1970. Igualmente se analizan los factores que se encuentran asociados al cambio en la estructura del paisaje. Se utilizaron ortofotomosaicos para los primeros periodos de tiempo e imágenes satelitales para el último. Diversas métricas del paisaje fueron empleadas mediante la utilización de un sistema de información geográfico, SIG. Según la comparación de los resultados encontrados se observó que entre las décadas de los años 1970 y 1990 la cobertura vegetal natural y seminatural decrece notablemente en su área, estabilizándose para los años 2000, cambios que para los primeros periodos de tiempo analizados se relacionan con el acelerado establecimiento de coberturas antrópicas como los asentamientos urbanos y canteras, así como la proliferación de plantaciones forestales de exóticas. Procesos que se pueden resumir como las principales causas de transformación de las coberturas vegetales naturales de los Cerros Orientales de Bogotá.

Palabras claves

Cerros Orientales de Bogotá, cambio del paisaje, cobertura vegetal, estructura del paisaje, métricas del paisaje, SIG.

1. Ecólogo. Profesional de la Subdirección Científica. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia. ccorrea@jbb.gov.co



Land-cover change analysis of eastern hills of Bogotá. On the last 40 years

Abstract

This study provides a quantitative analysis of the land cover changes on the Eastern Hills of Bogotá, between the 70-decade and the 2000-decade. In general, the study analyzes the facts that are associated to the change in the landscape structure. One of the ideas is to compare the digital orthophoto mosaics of the first period of time and satellite images for the last period. Different landscape metrics were employed with the use of GIS. According to the comparison of the results found, it has been observed that between seventies and nineties the natural and half natural land cover decreases remarkably on its area, stabilizing to the decade of 2000. Changes in the first period are linked to the accelerate establishing of anthropic land covers as the urban settlements and the proliferation of exotic forestry plantations. These processes can be resume as the principal causes of the transformation on natural land covers in the eastern hills of Bogotá.

Keywords

Eastern Hills of Bogotá, landscape change, land cover, landscape structure, landscape metrics, GIS.

INTRODUCCIÓN

El entendimiento de los cambios en la estructura del paisaje y en especial el de las coberturas vegetales de las áreas rurales del Distrito Capital ha sido tema de interés y parte de la línea de investigación en Conservación *In Situ* de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá. Los estudios de las dinámicas de transformación del territorio son importantes porque generan información actualizada acerca de las condiciones de las coberturas en áreas donde el potencial de conservación es representativo. Tal es el caso de los Cerros Orientales de Bogotá que según el acuerdo 30 de 1976 son alinderados y declarados Reserva Forestal Protectora llamada «Bosque Oriental de Bogotá». Para las entidades distritales es necesario saber cómo se han comportado las coberturas vegetales en esta zona, si se han mantenido o si por el contrario están disminuyendo, con el fin de mejorar el conocimiento de la situación real de los recursos del Distrito Capital, conocer su configuración espacial involucrando una aproximación integral del paisaje que permita una mejor comprensión de



la estructura ecológica de la región y posibilitar el entendimiento de algunas de las relaciones entre los patrones y los procesos que se encuentran inmersos en el territorio (Naveh et al. 2001, Carabelli et al. 2006).

Este tipo de estudios ofrece una aproximación adecuada a la comprensión de la distribución, la extensión y las relaciones espaciales entre los diferentes tipos de elementos que componen este paisaje. Los procesos de cambio se asocian a factores sociales, económicos y ambientales que con el tiempo se van expresando en el paisaje de una forma negativa o positiva (Etter & Mendoza 2001). Los cambios se presentan como producto de dinámicas que fluctúan según las fuerzas impulsoras humanas y las fuerzas naturales (Dale et al. 1993, Lambin et al. 2001, Burgi et al. 2004); estas dinámicas de cambio pueden ser estudiadas por medio de medidas que cuantifican el estado de la estructura del paisaje en un tiempo determinado (Hulshoff 1995, Frohn 1998, Gustafson 1998, O'Neill et al. 1999, Farina 2000, Gergel & Turner 2002, Harbin & Jianguo 2004).

Teniendo en cuenta la premisa anterior surge el objetivo general de esta investigación que es el de analizar de forma cuantitativa los cambios a través del tiempo en la estructura del paisaje desde el año 1970. Se hizo el análisis visual de los productos de sensores remotos disponibles para las distintas décadas del multitemporal, se generaron los mapas de cobertura de los Cerros Orientales de Bogotá de los últimos 40 años a escala 1:25000, se aplicaron índices de paisaje cuantificando la estructura y la configuración espacial de las coberturas —haciendo las debidas comparaciones entre las distintas décadas estudiadas— y se analizaron las tendencias de cambio a través del tiempo.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio se localiza en Colombia, en zona rural de Bogotá, costado oriental y por eso son conocidos como Cerros Orientales. Se extienden desde el sur en las coordenadas 986.000 N y 998.000 E desde el llamado Boquerón de Chipaque hasta la cuenca de la Quebrada Torca al norte en las coordenadas 1.024.000 N y 1.006.000 E (Figura 1). El área estudiada es de aproximadamente 13266 ha y presenta un gradiente altitudinal entre 2575 m y 3575 m que favorece una amplia variedad de coberturas vegetales y, por lo tanto, de ecosistemas. Las cuencas más importantes son las de los ríos San Francisco y San Cristóbal, al

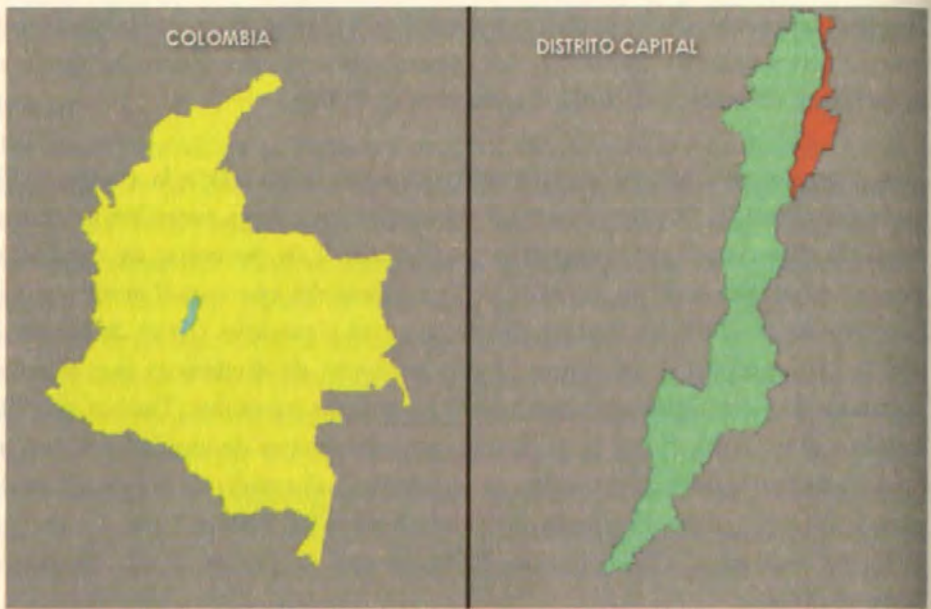


Figura 1. Situación relativa del área de estudio.

centro y sur respectivamente y las del Río Arzobispo y de la Quebrada Torca, al norte (CAR 2006). Los Cerros Orientales incluyen las áreas rurales de las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal y Usme (Figura 1).

Clasificación de coberturas vegetales

Como actividad inicial se hizo la identificación de las líneas de vuelo y de las fotografías aéreas necesarias para el análisis por décadas. Se realizó la revisión detallada de varios sistemas de clasificación de coberturas vegetales con el fin de hallar el más apropiado para la leyenda y la clasificación de coberturas de los distintos mapas de cada década estudiada. El propuesto por Di Gregorio y Jenssen (1988) sirvió como base para obtener una leyenda y una clasificación precisas que fueron posteriormente complementadas con los criterios del intérprete. En este sistema de clasificación las unidades de cobertura son definidas en un orden jerárquico lógico, en el cual se limitan grandes grupos de coberturas que posteriormente se derivan en tipos más detallados permitiendo una clasificación precisa y apropiada para el área de estudio.

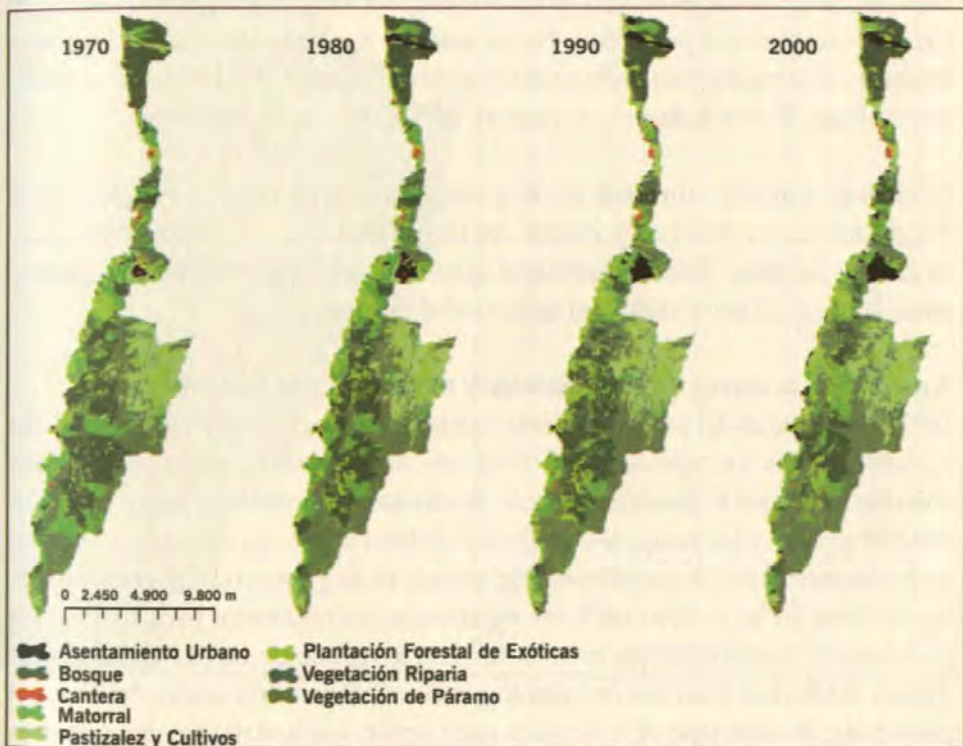


Figura 2. Mapa de cobertura para cada una de las décadas estudiadas.



Interpretación visual de sensores remotos e integración a un SIG

El mapeo de las coberturas para las diferentes décadas estudiadas (Figura 2) se basó en el análisis de distintos productos de sensores remotos —imagen satelital SPOT 5 año 2005 para los años 2000 y ortofotomosaicos para las décadas de los años 1970, 1980 y 1990—, los cuales fueron utilizados para delinear las unidades de cobertura en formato digital con base en criterios de interpretación visual (Chuvieco 2002; CIAF 2005), asignando nombres para cada tipo de cobertura. El mapa de los años 2000 fue generado a medida que se fueron corroborando en campo las unidades recientes de cobertura; posteriormente se integró al SIG la digitalización extraída de los ortofotomosaicos para las décadas anteriores.

Cálculo del error de desfase en los ortofotomosaicos

Como su nombre lo indica los Cerros Orientales de Bogotá se caracterizan por ser una cadena montañosa, que posee una alta heterogeneidad en sus geoformas. Debido a esto la ortorrectificación y la georreferenciación de los ortofotomosaicos presentan distintos grados de error (Figura 3) que se manifiestan en desfases espaciales al ser traslapados con la imagen base del 2005 y con sus respectivos productos. Por lo anterior fue necesario calcularlo ya que limita la información obtenida para las distintas décadas analizadas generando inconsistencias en los datos al momento de hacer las comparaciones.

El cálculo se realizó con base en 40 puntos de control sobre la imagen SPOT 5 teniendo en cuenta que pudieran ser identificados en los ortofotomosaicos de las tres décadas. Posteriormente se calculó la distancia media de los puntos entre la imagen base y cada uno de los ortofotomosaicos.

Análisis de la estructura del paisaje y tendencias de cambio

Diversas métricas del paisaje son empleadas en Ecología para elaborar medidas cuantitativas de los patrones espaciales que se encuentran en un mapa o que son obtenidos por la interpretación de productos de sensores remotos como las aerofotografías y las imágenes satelitales (Frohn 1998). La aplicación práctica de la cuantificación de los patrones del paisaje es de gran ayuda en el análisis de los cambios en las coberturas y son rigurosamente necesarios para analizar los patrones y la interacción que estos tienen con los procesos del paisaje (Gergel & Turner 2002). Las matrices de cambio generan información acerca del área y el porcentaje de cada tipo de cobertura que cambió hacia otro tipo de cobertura durante un intervalo de tiempo (Pearson et al. 1999).

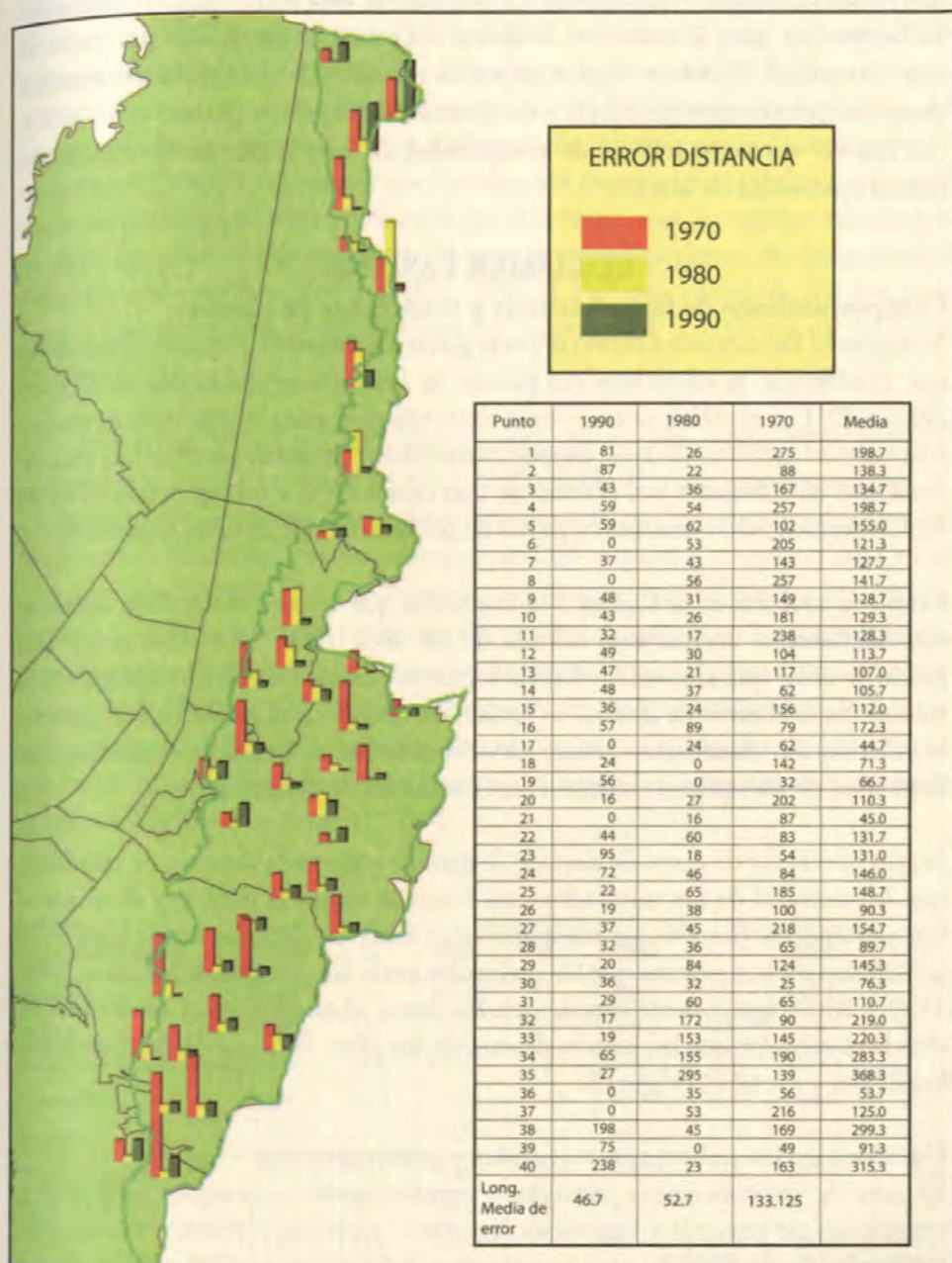


Figura 3. Distribución del error de desfase de los ortofotomosaicos. Décadas de los años 1990, 1980 y 1970.



Los índices aplicados corresponden a métricas de área como tamaño promedio de los parches, área de cada tipo de cobertura y porcentaje de cada parche en el total del paisaje. También fueron aplicadas métricas de configuración espacial como número de parches e índice de diversidad del paisaje (Leitao et al. 2006). Así mismo se usaron índices de complejidad de los parches como dimensión fractal y densidad de bordes.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Comportamiento de las coberturas y tendencias de cambio

Se exponen los cambios a través del tiempo de los diferentes tipos de coberturas que conforman la estructura del paisaje de los Cerros Orientales de Bogotá (Figura 2). Los cambios se comparan teniendo en cuenta el tipo de cobertura y con base en métricas de área, específicamente el comportamiento en el área de cada tipo de cobertura y el porcentaje que ocupa en el total del paisaje (Figura 4). Las tendencias se analizan a partir de las matrices de cambio (Anexo 1).

Como se muestra en la Figura 3 se considera que el error de desfase aumenta notablemente al acercarse la década de los años 1970. Se evidencia un alto grado de error que se concentra en el sector sur de los Cerros Orientales. En la metodología el error de desfase es tenido en cuenta en el momento de generar la información estadística y, sobre todo, al elaborar las matrices de cambio que dependen de un óptimo traslape entre los mapas de cobertura.

Según el cálculo de error de desfase (Figura 3) para cada decenio se considera que la exactitud de los resultados está limitada según la década y el sector al que pertenecen; por esto las comparaciones entre las décadas de los años 1970 y 1980 son menos exactas que las realizadas entre las décadas de los años 1980, 1990 y 2000. Igualmente sucede con los datos obtenidos en el sector sur en donde el error promedio para la década de los años 1970 puede fluctuar entre los 275 m y los 62 m (Figura 3).

Cambios en las coberturas naturales y seminaturales

El área de las coberturas naturales y seminaturales —bosques, matorrales, vegetación de páramo y vegetación riparia— disminuye notablemente entre 1970 y 2000. De 9355 ha, que representan el 70 por ciento del paisaje, pasa a 8378 ha, ocupando el 63 por ciento. Para los años 2000 aumenta levemente a 8537 ha, equivalentes al 64 por ciento (Figura 3).



Los bosques presentan una notable disminución en sus áreas. En la década de los años 1970 cuentan con 3349 ha, 25.2 por ciento y para los años 2000 registran 2155 ha, 16.2 por ciento. Estos resultados muestran la alteración de coberturas vegetales naturales por procesos antrópicos como la expansión de los asentamientos urbanos que se dan específicamente para el último período de tiempo (Tabla 1). A pesar de que los bosques mantuvieron un alto porcentaje de su área sin transformarse durante los tres intervalos de tiempo estudiados su área ha sido altamente afectada por el establecimiento de plantaciones forestales de exóticas. Entre 1980 y 1990 el 11.7 por ciento de los bosques fueron transformados a dicha cobertura y entre 1990 y 2000 en un 10.3 por ciento (Anexo 1).

Los matorrales presentan una disminución en su área entre 1970 y 2000, aumentando levemente para los años 2000 (Tabla 1). Este incremento para el último período de tiempo puede estar influenciado por la cobertura de especies invasoras exóticas como el retamo espinoso *Ulex europaeus* y el retamo liso *Cytisus monspessulanus* las cuales, al confundir su respuesta espectral con los matorrales nativos, no lograron ser diferenciadas a la escala de interpretación de este trabajo. Los matorrales han sido transformados a vegetación de páramo en un 28.9 por ciento entre 1990 y 2000, evidenciando procesos de «paramización». Las áreas con matorrales y bosques de porte alto abren paso a pajonales de páramo, lo cual suele suceder después de una quema o del abandono de cultivos y potreros sobre los 2700 m (Cortés et al. 2004).

Tipo de cobertura	1970	%	1980	%	1990	%	2000	%
Asentamientos	56.6	0.4	245.6	1.9	352.9	2.7	484.3	3.7
Canteros	131.2	1.0	116.3	0.9	103.4	0.8	78.3	0.6
Plantación Forestal de Exóticas	1565.0	11.8	1840.7	13.9	2457.3	18.5	2318.9	17.5
Pastizales y Cultivos	2157.2	16.3	1939.1	14.6	1975.1	14.9	1848.0	13.9
Bosques	3349.1	25.2	3032.3	22.9	3032.0	22.9	2155.4	16.2
Vegetación de Páramo	3199.8	24.1	3548.8	26.8	3489.4	26.3	4195.6	31.6
Vegetación Riparia	315.7	2.4	240.5	1.8	223.2	1.7	329.0	2.5
Matorral	2491.6	18.8	2303.1	17.4	1633.0	12.3	1856.8	14.0
Total	13266.3	100.0	13266.3	100.0	13266.3	100.0	13266.3	100.0

Tabla 1. Cambios en el área (ha) para cada tipo de cobertura y porcentaje que ocupa en el total del área estudiada.

	AUA	AUD	B	C	CA	CT	I	M	MPF	P	PFE	PA	VP	VR
AUA	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AUD	0.0	83.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	4.4	1.9	0.0	0.0	0.0
B	0.0	0.9	55.1	0.1	0	0.0	0.1	17.1	0.0	1.6	10.5	0.0	14.0	0.7
C	0.0	14.0	0.0	52.3	0	0.0	0.0	17.1	0.0	4.9	4.7	0.0	6.8	0.0
CA	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	52.2	0.0
CT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	0.0	2.6	1.7	72.1	6.2	0.0	4.5	0.2
I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.7	7.0	0.0	0.0	10.4	0.0	24.8	0.0
M	1.1	0.8	12.0	0.4	0.0	0.1	0.0	45.3	0.0	5.2	9.6	0.0	21.3	4.1
MPF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.4	84.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.1
P	1.7	1.3	0.0	0.4	0.0	4.1	0.0	7.3	1.3	86.0	6.3	0.0	6.0	5.6
PFE	0.4	1.4	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	10.2	1.6	4.7	69.0	0.0	11.0	1.3
PA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0
VP	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	3.4	2.2	0.0	87.8	1.2
VR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	4.0	0.2	31.4	3.0	0.0	31.4	25.7

AUA= Asentamientos Urbanos Agregados AUD= Asentamientos Urbanos Dispersos B= Bosques C= Canteras CA= Cuerpos de Agua CT= Cultivos Transitorios I= Infraestructura M= Matorrales MPF= Misceláneas de Plantación Forestal de Exóticas y Vegetación Nativa P= Pastizales PFE= Plantación Forestal de Exóticas PA= Páramo Azonal VP= Vegetación de Páramo VR= Vegetación Riparia

	AUA	AUD	B	C	CA	CT	I	M	MPF	P	PFE	PA	VP	VR
AUA	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AUD	48.9	36.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	5.0	2.6	0.0	0.5	0.0
B	0.0	1.7	74.0	0.1	0.0	0.0	0.2	3.4	0.0	2.5	11.7	0.0	6.1	0.1
C	16.9	0.0	0.0	35.9	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	15.1	12.3	0.0	8.9	0.0
CA	0.0	0.0	0.0	0.0	71.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.6	0.0
CT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	1.3	0.0	63.1	5.5	0.0	10.5	6.4
I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0
M	0.2	0.4	18.0	0.7	0.0	0.1	0.0	48.8	0.0	5.1	14.3	0.0	11.6	0.7
MPF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	92.8	6.4	0.4	0.0	0.2	0.0
P	1.5	0.7	0.0	0.7	0.0	1.9	0.0	4.9	1.4	75.0	7.0	0.0	3.9	2.8
PFE	0.8	0.3	0.0	0.9	0.0	0.2	0.0	6.8	0.0	4.6	81.5	0.0	4.9	0.1
PA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
VP	0.0	0.1	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	4.6	0.0	3.9	5.8	0.0	84.3	0.8
VR	0.0	1.4	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	3.5	0.8	28.5	2.0	0.0	9.8	53.2

	AUA	AUD	B	C	CA	CT	I	M	MPF	P	PFE	PA	VP	VR
AUA	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AUD	0.0	82.5	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	4.0	0.0	0.0	0.0
B	0.0	0.1	68.0	0.1	0.0	0.0	0.1	10.6	0.0	1.7	10.3	0.0	9.0	0.0
C	0.0	20.5	0.0	36.0	0.0	0.0	0.0	12.3	0.0	12.2	12.4	0.0	5.8	0.7
CA	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.6	0.0
CT	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	30.7	61.3	0.0	0.5	0.0
I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.4	57.6	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
M	0.1	0.2	5.9	0.5	0.0	0.1	0.0	50.4		4.9	8.2	0.0	28.9	0.8
MPF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	69.0	30.5	0.3	0.0	0.0	0.0
P	0.0	6.4	0.0	0.8	0.0	0.9	0.0	7.5	1.9	66.1	6.7	0.0	4.6	5.1
PFE	0.1	1.2	0.0	1.8	0.0	0.0	0.2	12.6	0.0	5.1	72.0	0.0	6.9	0.1
PA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	100.0	0.0	0.0
VP	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	9.8	0.0	5.0	5.5	0.0	77.6	1.6
VR	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	9.5	0.0	20.5	6.5	0.0	22.3	40.5

Anexo 1. Matrices de Cambio Total = 3. Décadas 1990 - 2000, 1980 - 1990 y 1970 - 1980.



La vegetación de páramo presenta un incremento en su área a través del tiempo —de 3200 ha en la década de los años 1970 a 4196 ha en los años 2000— predominando la tendencia de cambio hacia ella —matorrales y bosques a vegetación de páramo— mientras que presenta un bajo grado de transformación hacia otros tipos de cobertura (Anexo 1); ha sido reemplazada por pastizales en un 3.4 por ciento entre 1970 y 1990 y en un 5 por ciento entre 1990 y 2000, en su mayoría para uso agropecuario sobre todo en los sectores de las veredas Verjón Alto y Bajo, evidenciando la influencia de procesos de expansión de la frontera agrícola.

Las tendencias de cambio de la vegetación de páramo están direccionadas también por el comportamiento de las plantaciones forestales. En el intervalo de tiempo entre 1980 y 2000 se presenta un incremento alto en las áreas de plantaciones forestales de exóticas reemplazando áreas de vegetación de páramo, que para esa fecha reportan cambio en 203 ha.

La vegetación riparia es reemplazada por pastizales, que por lo general ejercen presión hasta el límite de las quebradas y, en cierta forma, modelan la forma lineal de los relictos que también son conservados por los pobladores para mantener el riego de sus cultivos.

Cambios en las coberturas cultivadas manejadas

Las plantaciones forestales registraron un aumento significativo en su área hasta la década de los años 1990, decreciendo levemente para los años 2000 (Tabla 1). La importancia paisajística de esta cobertura ha influido para que los grandes parches cercanos a la ciudad ofrezcan el espacio para el establecimiento de asentamientos urbanos; para el último período de tiempo se registra un leve reemplazo —1.3 por ciento— de sus áreas relacionado con los procesos de expansión urbana que se concentran hacia el límite occidental de los Cerros Orientales de Bogotá.

Las plantaciones forestales han sido reemplazadas por pastizales —5.1 por ciento— sobre todo en el intervalo de tiempo entre 1990 y 2000. Este comportamiento puede estar dado por la necesidad de abrir espacios para el establecimiento de usos agropecuarios. Los matorrales han transformado significativamente a las plantaciones forestales de exóticas; este comportamiento ha sido influenciado por la expansión de especies invasoras exóticas que



aprovechan las áreas que han sido extraídas para colonizarlas. En algunos casos las plantaciones forestales de exóticas como los «eucaliptales» presentan dosel de retamo.

Los cultivos transitorios, al presentar un sistema de rotación dominado por una matriz de pastizales, presentan una tendencia de cambio direccionada hacia dicha cobertura. Por este motivo es difícil cuantificar las tendencias de cambio en la escala temporal de décadas. En cuanto a los pastizales es importante resaltar como estos son transformados por procesos de expansión urbana a asentamientos urbanos (Anexo 1) como en el caso del extremo norte de los cerros. También son reemplazados por matorrales, proceso que puede estar altamente influenciado por el avance de los retamos espinoso y liso.

Cambios en las coberturas no vegetales

El área de las coberturas no vegetales se incrementa levemente a través del tiempo evidenciando procesos de expansión urbana que se sitúan en su mayoría en el límite occidental de los cerros ejerciendo presión sobre los relictos de vegetación nativa (Figura 4).

Las canteras disminuyen gradualmente su área a través del tiempo: para la década de los años 1970 se registran 131.2 ha y para los años 2000 78.3 ha (Tabla 1). Estas han promovido el establecimiento de coberturas de origen antrópico, favoreciendo el establecimiento de asentamientos urbanos sobre los cerros (Anexo 1). Con el tiempo adecúa el terreno para que este tipo de coberturas se vaya consolidando.

Cambios en la estructura del paisaje y fragmentación

Número y tamaño promedio de parches

Según Gurrutxaga (2004) la fragmentación está estrechamente relacionada con el tamaño promedio y con el número de parches en el paisaje. Un paisaje está más fragmentado cuanto menor es el tamaño de los parches y por consiguiente mayor el número de fragmentos (Bennet 1999). En general el paisaje estudiado presenta un alto grado de fragmentación sobre todo para la última década. La tendencia es estable para las décadas de los años 1970 y 1980 —507 y 450 respectivamente—, pero aumenta considerablemente para los años 1990 y 2000 —664 y 746 respectivamente—.



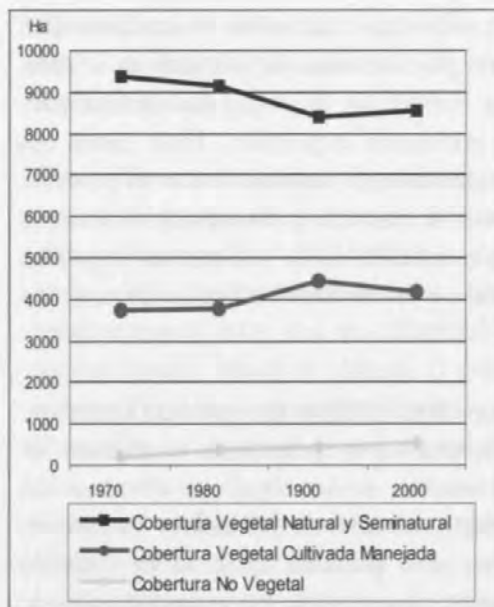
Los procesos de fragmentación de las coberturas naturales y seminaturales han sido direccionados principalmente por actividades extractivas a cielo abierto como las canteras, establecidas con el fin de suplir las necesidades de infraestructura de una ciudad en constante expansión. Esto causa un incremento en el establecimiento de asentamientos urbanos sobre la reserva. La introducción de plantaciones forestales de exóticas y de especies invasoras es otro factor que genera aislamiento y reducción de las coberturas vegetales nativas, actividad fomentada en gran parte por entidades estatales durante los años 1970 y 1980.

En cuanto a los bosques se puede decir que a través del tiempo han sido altamente fragmentados: en el último intervalo de tiempo se incrementa el número de parches y disminuyen sus tamaños promedio, evidenciando la disminución de sus áreas (Figuras 5 y 6). El tamaño promedio en general es grande en comparación con las demás coberturas, pero presenta un comportamiento muy variable: para el intervalo de tiempo comprendido entre las décadas de los años 1970 y 1980 son más o menos estables, registrando 176 ha y 168 ha respectivamente, incrementándose para la década de los años 1990 a 337 ha y disminuyéndose considerablemente a 25 ha para los años 2000 (Figura 6).

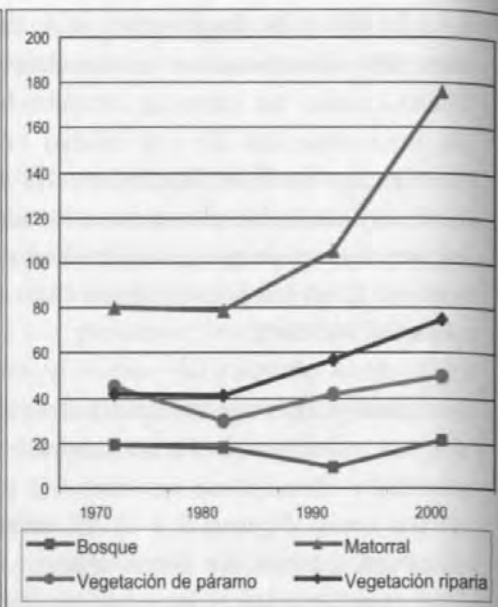
Los bosques y los matorrales están históricamente afectados por la introducción de plantaciones forestales, plantaciones que generan el aislamiento de los parches; en el extremo norte de los cerros han sido claramente fragmentadas por canteras, que con el tiempo se transforman a asentamientos urbanos impidiendo que haya conectividad estructural entre ellas.

Los matorrales presentan el mismo caso de los bosques: para las décadas de los años 1990 y los años 2000 aumenta considerablemente el número de parches (Figura 5) y disminuyen notoriamente su tamaño promedio, evidenciando también marcados procesos de fragmentación (Figura 6). Este comportamiento está relacionado con el incremento de especies invasoras las cuales pueden generar rápidamente un gran número de parches en el intervalo de una década.

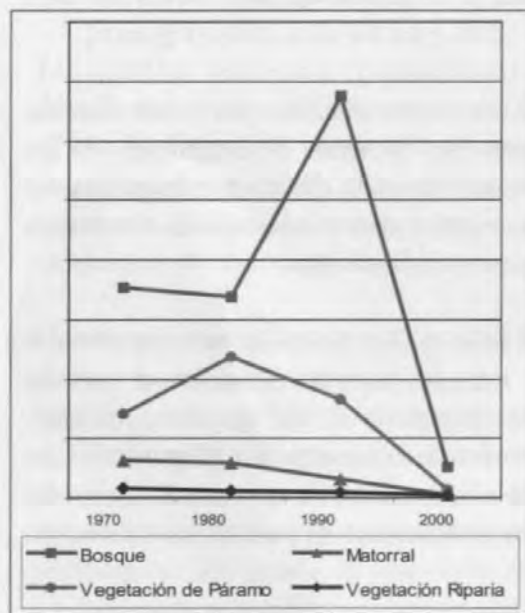
En cuanto a la vegetación de páramo aumenta el número de parches, de 30 en la década de los años 1980 a 50 para los años 2000 (Figura 5), y decrece su tamaño promedio, comportamiento que puede estar afectado por el proceso



4



5



6

Figura 4. Cambios en el área de la cobertura vegetal natural y seminatural, cobertura vegetal cultivada manejada y cobertura no vegetal.

Figura 5. Número de parches de las coberturas naturales y seminaturales.

Figura 6. Tamaño promedio de los parches de las coberturas naturales y seminaturales

de paramización en áreas donde anteriormente existían pastizales y cultivos, además de la fragmentación causada por la expansión de la frontera agrícola, sobre todo para el sector del Verjón Alto y Bajo.

La vegetación riparia se fragmenta: aumenta gradualmente el número de parches y disminuye considerablemente su tamaño promedio. Vale la pena resaltar que la disposición espacial de estos tipos de coberturas influye en el grado de fragmentación espacial, debido a que al presentar formas lineales pueden aparecer en el paisaje aislados o bien conectando parches entre sí, que en muchos casos corresponden a parches de vegetación natural que fomentan la conectividad del paisaje.

CONCLUSIONES

Los cambios en la estructura del paisaje de los Cerros Orientales de Bogotá plasman la heterogeneidad contrastada por la interacción hombre entorno. Esta dinámica es el resultado de complejos procesos tanto socioeconómicos como naturales que se han dado a lo largo del tiempo. Parches urbanos, seminaturales y agrícolas se distribuyen sobre el paisaje. Las características emergentes de estos son una síntesis de la alta heterogeneidad identificada por la relación entre las coberturas antrópicas y las naturales.

Los cambios en las coberturas vegetales de los Cerros Orientales de Bogotá para las décadas más recientes han sido direccionados básicamente por el establecimiento de normas legales que intentan la conservación de la reserva, por procesos de expansión urbana, por el establecimiento de plantaciones forestales de especies exóticas, por el incremento en las vías de comunicación y de acceso a otros bienes, por el establecimiento de otras coberturas de origen antrópico como los pastizales e invasoras como el retamo espinoso *Ulex europaeus* y el retamo liso *Cytisus monspessulanus* y por el establecimiento de canteras.

Dichos cambios se caracterizan por ser dependientes del sector donde se ubican: el frente occidental está más afectado por el crecimiento urbano, las canteras y las plantaciones forestales; el sector oriental ha sido transformado por el establecimiento de pastizales y cultivos; la zona norte por la expansión urbana y de canteras; el área de la hoya del San Francisco y de San Cristóbal ha sido ampliamente transformada por las plantaciones forestales y la zona sur por la expansión de la frontera agrícola y por el crecimiento urbano.



Las coberturas vegetales naturales y seminaturales decrecen notablemente en sus áreas entre las décadas de los años 1970 y 1990, incrementándose levemente en los años 2000. Estos cambios están ligados a la acelerada extracción de la cobertura vegetal por la necesidad de expandir el área urbana por el crecimiento poblacional. El incremento para la última década está ligado al aumento acelerado de la vegetación de páramo.

Las plantaciones forestales de exóticas registraron un aumento significativo en sus áreas hasta la década de los años 1990, decreciendo levemente para los años 2000. Para este período de tiempo se registró un notable reemplazo, dado por la expansión urbana que se concentra hacia el límite occidental de los Cerros Orientales. En muchos casos las plantaciones forestales de exóticas son utilizadas como áreas de expansión urbana y dentro de ellas poco a poco se consolidan asentamientos urbanos. Este proceso también se relaciona con la importancia paisajística de esta cobertura sobre todo para las clases altas, como sucede en el norte de los Cerros Orientales. Las canteras han promovido el establecimiento de otras coberturas sobre todo de origen antrópico. Este proceso influye en la expansión urbana y en el establecimiento de asentamientos de tipo informal, adecuando el terreno para que los asentamientos se vayan consolidando con el tiempo.

Agradecimientos

Esta investigación es una contribución de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis a la generación de conocimiento en pro de la conservación de los recursos naturales del Distrito Capital y la Región. Especiales agradecimientos a Claudia Córdoba García y al grupo de Conservación In Situ por sus acertados comentarios acerca de este manuscrito. Al doctor Luis Guillermo Baptiste de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana.

Bibliografía

- Bennet, A. F. 1999. *Linkages in the landscape*. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN. Switzerland and Cambridge. UK.
- Burgi, M., A. M. Hersperger & N. Schneeberger. 2004. *Driving forces of landscape change-current a new direction*. Landscape Ecology, 19: 857-868.

- Carabelli, F., R. Scoz, H. Claverie, M. Jaramillo & M. Gómez. 2006. *Changes on landscape heterogeneity and spatial patterning of native forests in Patagonia; Argentina*. Investigación Agraria, Sistema de Recursos Forestales. 15 (2): 160-170.
- Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica, CIAF. 2005. *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*. Bogotá, D.C.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. 2006. *Plan de manejo de la reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá*. Bogotá, D.C.
- Cortés, S. P., O. J. Rangel, H. Serrano. 2004. *Transformación de la cobertura vegetal en la alta montaña de la Cordillera Oriental de Colombia*. Lyonia 6 (2): 153-160.
- Chuvieco, E. 2002. *Teledetección ambiental - La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel. Barcelona.
- Dale, V. H., R. V. O'Neill, M. Pedlowsky & F. Southworth. 1993. *Causes and effects of land-use change in Central Rondonia, Brazil*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 59: 997-1005.
- Di Gregório & A. Jansen, L. 1998. *Land cover classification system, LCCS: classification concepts and user manual*. FAO. Rome.
- Etter, A. & J. E. Mendoza. 2002. *Multitemporal analysis (1940-1996) of land cover changes in the southwestern Bogotá highplain (Colombia)*. Landscape and Urban Planning 59: 147-158.
- Farina, A. 2000. *Principles and methods in landscape ecology*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Frohn, R. C. 1998. *Remote sensing for landscape ecology: new metric indicators for modeling and assessment of ecosystems*. Lewis Publishers. USA.
- Gergel, S. E. & M. G. Turner. 2002. *Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques*. Springer. New York.
- Gurrutxaga, M. 2004. *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad - nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial*. Departamento de Agricultura y Pesca. Euskadi.
- Gustafson, E. J. 1998. *Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?* Ecosystems 1: 143-156.



- Harbin, L., Jianguo Wu. 2004. *Use and misuse of landscape indices*. Landscape Ecology 19: 389-399.
- Hulshoff, M. R. 1995. *Landscape indices describing a dutch landscape*. Landscape Ecology 10(2): 101-111.
- Lambin, E. F., B. L. Turner & H. Geist. 2001. *The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths*. Global Environmental Change 11: 261-269.
- Naveh, Z., A. S. Lieberman, F. O. Sarmiento, C. M. Ghera & R. J. C. León. 2001. *Ecología de paisajes*. Edición en español. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- O'Neill, R. V., K. H. Riitters, J. D. Wickham & B. Jones. 1999. *Landscape pattern metrics and regional assessment*. Ecosystem Health 5: 228-229.
- Pearson, S. M., M. G. Turner & D. L. Urban. 1999. *Effective exercises in landscape ecology*. Pags 335-368 en: J. M. Klopatek & R. Gardner (eds). Landscape ecological analysis - issues and applications.