



Sección. Investigación | **Section.** Investigation | **Seção.** Pesquisa

Artículo revisado por pares académicos.

17

Investigaciones

Identificación y cuantificación de los procesos de cambio de las coberturas sobre el territorio de la cuenca alta del río Bogotá, entre 1977 y 2015

Sandra Pilar Cortés Sánchez. Máster en Planificación Territorial y Gestión Ambiental de la Universidad de Barcelona, España. Consultora independiente. Colombia. Bogotá. Correo electrónico: sanpicor@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7697-0068>

Recibido: Octubre 28, 2017.67

Aprobado: Noviembre 11, 2018.

Publicado: Diciembre 17, 2018.

Acceso abierto: Reconocimiento 4.0 (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



Nota: Artículo derivado de la investigación *Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en la cuenca alta del río Bogotá*, desarrollada para obtener el título de máster en Planificación Territorial y Gestión Ambiental de la Universidad de Barcelona, España, bajo la tutoría de Carles Barriocanal, de la misma institución. Agradecimientos a usgs GloVis por facilitar las imágenes satelitales.

Conflicto de intereses: La autora ha declarado que no existen conflictos de intereses.

Resumen

La cuenca alta del río Bogotá es considerada un área estratégica del país por la vocación agrícola de sus suelos, al igual que por su alta calidad paisajística y red hidrográfica que se sustenta en ecosistemas naturales particulares, entre ellos los páramos, bosques andinos y humedales. Sin embargo, últimamente la calidad del paisaje se ha visto afectada y las coberturas, tradicionalmente agrícolas y de vegetación natural, han sido sustituidas por otras de tipo industrial, comercial y habitacional, lo cual amerita ser cuantificado en un periodo de tiempo específico, en contexto con la normatividad actual. El presente estudio realizó la identificación y cuantificación de cambios en las coberturas sobre dicho territorio, entre 1977 y 2015, igualmente se calcularon tasas de cambio, deforestación y pérdida de coberturas vegetales naturales. Los resultados evidencian que en este periodo el 70,54 % del territorio se ha transformado, el 1,93 % fue alterado, el 0,53 % está en degradación y el 26,72 % presenta aún conservación de áreas naturales. Por otra parte, las coberturas de bosques naturales disminuyeron cerca de 38.681,39 ha. La deforestación total anual promedio en un periodo de 38 años fue de 1.017,93 ha/año para el bosque nativo. La tasa de deforestación de bosque nativo es de -1,54 %. La tasa de pérdida de páramo es de -0,16 %, la de los matorrales es de -3,03 % y la de la vegetación subxerófitas es de -1,56 %.

Palabras clave: cuencas hidrográficas, deforestación, paisaje, planificación regional, vegetación.

Identification and quantification of the processes of change of coverage on the territory of the upper basin of the Bogotá River, between 1977 and 2015

Abstract

The Upper Basin of the Bogotá River is considered a strategic area of the country for the agricultural vocation of its soils, as well as for its high landscape quality and hydrographic network that is sustained by particular natural ecosystems, among them the paramos, Andean forests, and wetlands. However, lately the quality of the landscape has been affected and the coverings, traditionally agricultural and natural vegetation, have been replaced by others of industrial, commercial and housing, which deserves to be quantified in a specific period, in context with the current regulations. The present study carried out the identification and quantification of changes in the coverage of said territory, between 1977 and 2015, likewise calculating exchange rates, deforestation and loss of natural vegetation cover. The results show that in this period 70.54% of the territory has been transformed, 1.93% was altered, 0.53% is in degradation and 26.72% still has conservation of natural areas. On the other hand, coverage of natural forests decreased close to 38,681.39 ha. The average annual total deforestation in 38 years was 1,017.93 ha/year for the native forest. The native forest deforestation rate is -1.54%. The rate of páramo loss is -0.16%, that of the bushes is -3.03% and that of the sub-xerophytic vegetation is -1.56%.

Keywords: river basins, deforestation, landscape, regional planning, vegetation.

Identificação e quantificação dos processos de mudança das coberturas sob o território da bacia alta do rio Bogotá, entre 1977 e 2015

Resumo

A Bacia Alta do rio Bogotá é considerada uma área estratégica do país pela vocação agrícola de seus solos, do mesmo que por sua alta qualidade paisagística e rede hidrográfica que se baseia em determinados ecossistemas naturais, incluindo os páramos, florestas de montanha e zonas húmidas. No entanto, ultimamente a qualidade da paisagem tem sido afetada e as coberturas, tradicionalmente agrícolas e de vegetação natural, tem sido substituídos por outras de tipo industrial, comercial e residencial, o que merece ser quantificado em um período de tempo específico, no contexto com os regulamentos atuais. Este estudo realizou a identificação e quantificação de alterações nas coberturas sobre dito território, entre 1977 e 2015, do mesmo foram calculadas as taxas de câmbio, desmatamento e perda de cobertura vegetal natural. Os resultados mostram que neste período a 70,54% da área foi-se transformando, o 1,93% foi alterada, 0,53% está em degradação e o 26,72% ainda apresenta conservação de áreas naturais. Além disso, as coberturas de florestas naturais diminuíram perto de 38.681,39 ha. O desmatamento total anual média durante um período de 38 anos foi de 1.017,93 ha/ano para a floresta nativa. A taxa de desmatamento de floresta nativa é de -1,54%. A taxa de perda de páramo é de -0,16%, a do mato é de -3,03% e a da vegetação subxerófila é de -1,56%.

Palavras-chave: bacias hidrográficas, desmatamento, paisagem, planejamento regional, vegetação.

Introducción

El estudio de cambio de uso del suelo y coberturas sobre el territorio es fundamental para identificar procesos de deforestación, degradación, pérdida de la biodiversidad, e incluso entender cambios climáticos locales, regionales y globales que pueden afectar el funcionamiento de aspectos claves de la tierra como sistema (Lambin et al., 2001, p. 262). Igualmente importante es identificar los focos de cambio y la dirección de estos procesos (Velázquez et al., 2002, p. 34), los cuales son el resultado de una secuencia de situaciones biofísicas y sociales que explican la heterogeneidad del paisaje (Zonneveld, 1995; Bastian, 2001). El uso del suelo tipificado como la interacción entre el hombre y su ambiente biofísico (Forman, 1995) implica la transformación de las condiciones naturales (Forman y Godron, 1986), lo cual varía de acuerdo con el lapso analizado. En consecuencia, los estudios multitemporales permiten aproximarse a la medición de las tasas de cambio en espacios definidos, lo cual intermedia entre los campos de la geografía, la historia, la ecología y la planeación ambiental (Etter y Van Wyngaarden, 2000; Velázquez et al., 2002; Etter, McAlpine, Wilson, Phinn y Possingham, 2006; SeaBrook, McAlpine y Fensham, 2006; Etter, McAlpine y Possingham, 2008), lo que muestra lo holístico de estos análisis tanto en su interpretación como en la utilidad de sus resultados. La interpretación de los cambios permite a su vez identificar patrones y tendencias en los elementos naturales y antrópicos del paisaje (McIntyre y Hobbs, 1999; Lunt y Spooner, 2005), de esta forma se constituyen en una importante herramienta para planear el manejo de un área.

Con el avance de la tecnología, los estudios multitemporales se convierten cada vez más en un instrumento importante de análisis del territorio. Anteriormente solo se contaba con fotografías aéreas, con lo cual para Colombia se realizaron importantes aportes de análisis de cambio en el uso del suelo, como los de Cavelier y Etter (1995), Etter et al. (2000), Etter et al. (2006), Viña

y Cavelier (1999) y otros estudios locales como el de Mendoza y Etter (2002). Posteriormente y gracias al avance tecnológico en cuanto a la ciencia espacial, sensores remotos y mejoramiento de la tecnología satelital y la liberación a gratuidad de esta información por instituciones como la U.S. Geological Survey (USGS), actualmente se puede tener acceso a estas herramientas y aprovechar dicha tecnología para abordar la planificación en escalas regionales y nacionales, e igualmente locales cuando los sensores remotos son mucho más finos.

Como antecedentes de estudios regionales de las coberturas sobre el territorio, usos del suelo y sus dinámicas en la cuenca alta del río Bogotá están los trabajos de IGAC y Orstom (1984), SENA-CES (1992), Díaz (1993), Van der Hammen (1998), CAR (2001), CAR (2006), Cortés (2008a), IAVH (2013) y ONF Andina (2016), así como otros estudios un poco más locales: Alcaldía Mayor de Bogotá (2004); Correa (2008); Cortés, Rangel y Serrano (2004); Cortés (2008b); Gómez (2009); Acuña (2010); Hernández-Gómez, Rojas-Robles y Sánchez-Calderón (2013); Ríos (2015).

La cuenca objeto de estudio se considera un área estratégica nacional que amerita la conservación de su paisaje, agua, suelos productivos y demás recursos naturales, según lo dispuso en su momento la Ley 99 (1993 art. 61). Sin embargo, en los últimos años dicho territorio hace evidente su cambio en el uso del suelo con la proliferación de zonas industriales, zonas francas, conjuntos residenciales, entre otras superficies duras, en suelos rurales de vocación principalmente agrícola y forestal, lo cual se ha fundamentado en el cambio de la normatividad de uso del suelo y su principal instrumento, los planes de ordenamiento territorial de los 29 municipios que la conforman. Igualmente, ha incidido la actualización de las normativas que protegían áreas para la conservación de las coberturas naturales y los suelos de producción agropecuaria (Resolución 138, 2014 y Resolución 456, 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Por lo anterior, este estudio tiene como objetivos: 1) determinar los procesos de cambio sobre el territorio de las diferentes coberturas

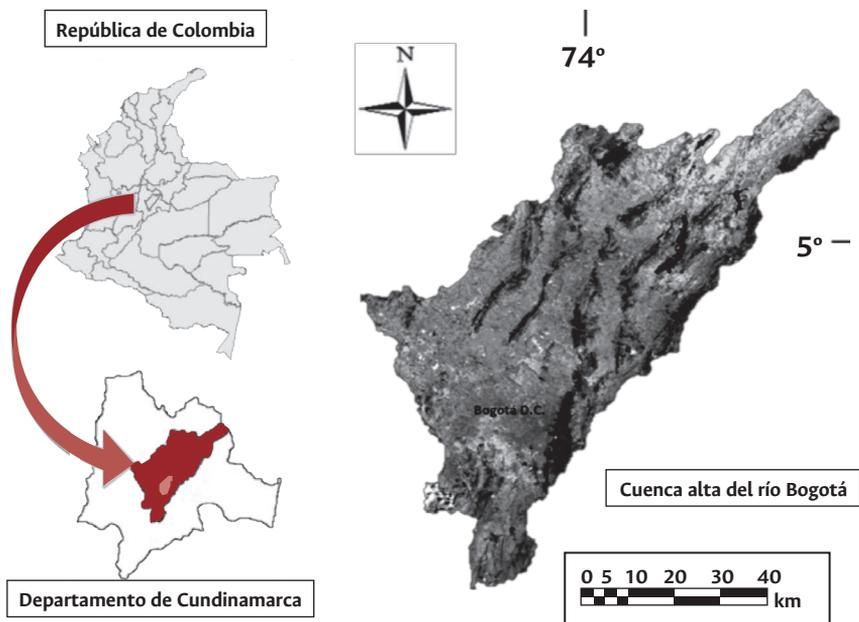
en la cuenca alta del río Bogotá, entre los años 1977 y 2015; 2) analizar la tasa de cambio de las coberturas identificadas en el territorio; y 3) calcular la tasa de deforestación y de pérdida de coberturas naturales.

Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca alta del río Bogotá, altiplanicie enclavada en la cordillera Oriental del sistema montañoso de los Andes colombianos, cuyo eje principal es el río Bogo-

tá. En la cuenca se asienta cerca del 19% de la población colombiana y se genera cerca del 26% de la actividad económica del país (Conpes 3320, 2004). Incluye un total de veintinueve municipios y la mayor parte de la capital de la república (figura 1), en un área total aproximada de 428.000 hectáreas (ha). Por su ubicación estratégica, el territorio ha sufrido importantes cambios en los usos del suelo con afectación profunda sobre sus coberturas vegetales originales (Van der Hammen, 1998; Cortés, 2008a).

Figura 1. Localización de la cuenca alta del río Bogotá



Nota: elaboración propia.

Metodología

Para el desarrollo de los objetivos del presente estudio se utilizaron imágenes de acceso abierto producidas por (USGS glovis) MSS del año 1977 y Landsat ETM 2015 para la cuenca alta del río Bogotá. Cada imagen está conformada por dos escenas (856 y 857) que permitieron conformar un mosaico. Se utilizó la imagen de satélite de 1977 porque es la imagen más antigua del área de estudio que se encontró, por

lo mismo la calidad del empalme entre las dos escenas y unos patrones de bandas en la zona centro norte del área (aproximadamente un 28% del área total) requirieron un tratamiento adicional, apoyándose en el uso de la imagen de 1997 para su interpretación complementaria empleando patrones de silueta, forma, color y textura mediante superposición con control visual de coberturas, donde se asumía que al menos las coberturas presentes en la imagen Landsat 1997 estaban desde el periodo 1977.

Por otra parte, se utilizó el mosaico de la imagen Landsat 2015, que correspondía (de acuerdo con el momento de inicio del presente análisis) a la imagen con menor nubosidad y mejor calidad disponible de la fuente ya descrita.

Se aplicó a cada mosaico georreferenciado el corte por límite geográfico de la cuenca controlando la coincidencia en superposición de las imágenes, donde se decidió realizar el análisis por comparación de los totales de cada tipo de cobertura, de tal manera que se absorbiera el error de desfases puntuales. Previamente se definió y homogeneizó una leyenda basada en un nivel general y uno detallado que permitió discriminar unidades específicas de cobertura para el área de estudio.

Las imágenes fueron procesadas en el software ERDAS IMAGINE[®] en cuanto a correcciones geométricas, transformaciones radiométricas, mejoramiento espacial y elaboración de mosaicos. Para realizar la delimitación y análisis cualitativo y cuantitativo de las unidades interpretadas, se utilizó el software Arc/Gis[®].

El método de clasificación visual utilizado permite disminuir errores de enmascaramiento que pueden ser muy grandes en imágenes de baja resolución espacial, como son las de formato MSS y aunque puede entrar la subjetividad del observador esto se compensa con un análisis de todos los elementos de la imagen y el conocimiento experto del área de estudio.

La verificación de las coberturas se apoyó en recorridos por tierra y aire, levantamientos de vegetación, datos geográficos y cartográficos, lo que permitió confirmar y corregir las apreciaciones sobre la imagen satelital. La interpretación visual de 2015 al ser corroborada con puntos de muestreo georreferenciados en campo y definidos en tipo de cobertura describe un porcentaje de acierto superior al 90 %.

Los cambios de cobertura se evaluaron por la comparación de la interpretación visual entre el año t1 (1977) y el año t2 (2015), para un periodo de 38 años.

La identificación de los procesos de cambio tiene en cuenta lineamientos de categorías de cambio en los bosques, según la FAO (1996), y

de otras coberturas, según Cortés et al. (2004) y Cortés (2008b), con adaptaciones específicas para el tipo de leyenda del presente análisis, donde se aplican las siguientes definiciones:

- Conservación (C): Tiene lugar cuando las coberturas naturales de un tiempo cero a otro no han sufrido cambios y se mantienen en esta escala de análisis (1:100.000). Para este nivel de aproximación, indica permanencia de una cobertura y no el estado interno del bosque, matorral u otra cobertura natural, tampoco el estado del suelo.
- Alteración (A): Se presenta cuando la cobertura natural cambia a coberturas seminaturales como plantaciones forestales, o se pasa de coberturas de bosque nativo a matorrales.
- Degradación (D): Se califica en este proceso a aquellas coberturas sobre el territorio que han eliminado la capa vegetal natural y los suelos se encuentran al descubierto o con pequeñas proporciones de matorrales o herbazales, como es el caso de la explotación minera de canteras o en el caso de la región de vida paramuna la presencia de plantaciones forestales de exóticas. La FAO (1996) la define, en cuanto a los cambios en coberturas, como la disminución de densidad o aumento de perturbación en las clases del bosque.
- Transformación (T): Proceso que se identifica cuando no quedan vestigios de la cobertura original y queda en su lugar otra que en estructura y en valor paisajístico es totalmente contrastante como es el caso de un bosque que pasa a plantación de exóticas, a zona agropecuaria o a centro urbano. Cambio también denominado por la FAO (1996) como conversión referido al paso de coberturas cerradas de bosque a coberturas agrícolas.

Cálculo de las tasas de cambio

Las tasas de cambio se calcularon de acuerdo con la fórmula utilizada por la FAO (1996) de amplio uso en este tipo de análisis, especialmente en escuelas de ecología de México (Velázquez et al., 2002; Hiraes et al., 2010; Gutiérrez et al. 2016), que expresa el cambio en porcentaje de la superficie al inicio de cada año del periodo

analizado, el cual fue aplicado a todas las clases de cobertura identificadas sobre el terreno (ecuación 1) y que para las coberturas naturales definió la tasa de deforestación.

Ecuación 1:

$$\delta n = (S2/S1) 1/n - 1$$

Donde:

δ Tasa de cambio

S_1 Superficie en la fecha 1

S_2 Superficie en la fecha 2

n Número de años entre las dos fechas

Para expresar en porcentaje se multiplicó por 100.

Cálculo de la deforestación total anual promedio

Corresponde a la deforestación total anual promedio para un periodo determinado (ecuación 2), donde A2 y A1 son las áreas de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1), respectivamente (Puyravaud, 2003).

Ecuación 2:

$$D = \frac{A1 - A2}{t2 - t1}$$

Donde:

D: Deforestación total anual promedio para un periodo determinado

A1: Área de bosque inicial (has)

A2: Área de bosque final (has)

t1: Año inicial

t2: Año final

Los valores de deforestación obtenidos para bosque nativo entre los años 1977 y 2015 se analizan en conjunto con los valores de los años intermedios 1997 y 2003 tomados de Cortés (2016), que a su vez permiten analizar tendencias de comportamiento de la deforestación en el área de estudio tomando valor promedio, máximos y mínimos de las tasas de deforestación.

Resultados, análisis y discusión

Para t1 se obtuvo que las coberturas de tipo agropecuario ocupan el 41,16% del territorio, seguido por la vegetación boscosa que ocupa el 20,89%, los matorrales presentan un 9,2% de ocupación seguidos por la vegetación subxerófila con 7,60% la vegetación de páramo se presentó en un 7,27% del total del territorio. Sin vegetación se identificó un 10,17% (tabla 1 y figura 2).

Para el año t2, las coberturas de tipo agropecuario ocuparon el 56,26% del territorio, seguido por la vegetación boscosa que ocupó el 13,21%, la vegetación de páramo se identificó con un 6,84%, los matorrales subxerófitos presentaron un 4,17%, mientras que los matorrales presentan un 2,85%. Se evidenció un 14,82% de superficie sin vegetación (tabla 1 y figura 2).

Como se aprecia en la tabla 1, las coberturas antrópicas desde 1977 han superado a las naturales, sin embargo, entre t1 y t2 han pasado de un 51,87% a un 72,62% reflejando en 38 años un aumento de las coberturas antrópicas cercano al 21%, en detrimento de las coberturas naturales.

Tabla 1. Comparación de las coberturas sobre el territorio de la cuenca alta del río Bogotá, entre los años 1977 y 2015

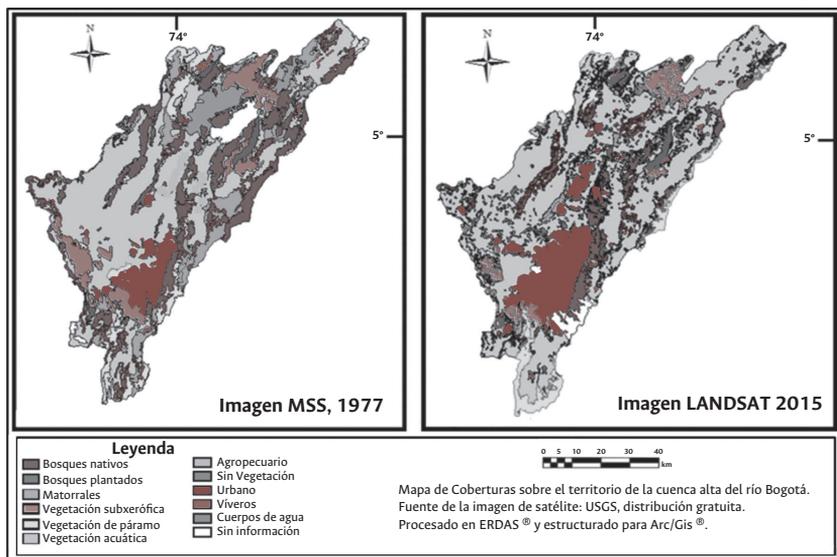
Tipo general	Clase general	t1: 1977		t2: 2015	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%
Vegetación boscosa	Bosques nativos	86.978,55	20,34	48.297,16	11,28
	Bosques plantados de exóticas	2.342,86	0,55	8.256,44	1,93
Vegetación especial zonas altas (páramo)	Vegetación de páramo	31.075,23	7,27	29.263,24	6,84
Vegetación arbustiva	Matorrales	39.354,31	9,20	12.211,03	2,85
Vegetación especial zonas pantanosas	Vegetación acuática	669,46	0,16	669,11	0,16
Vegetación especial zonas secas (subxerófitas)	Vegetación subxerófitas	32.475,84	7,60	17.836,86	4,17
Vegetación de tipo agropecuario	Agropecuario	175.988,46	41,16	240.805,75	56,26
Sin vegetación	Sin vegetación	21.266,32	4,97	2.289,51	0,53
	Viveros	49,01	0,01	7.600,84	1,78
	Urbano	22.167,91	5,18	53.526,54	12,50
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	5.956,58	1,39	6.087,77	1,42
	Sombras de nube	---	---	872,92	0,20
Sin información	Nubes	9.260,80	2,17	324,73	0,08
Área total	total	427.585,39	100,00	428.041,89	100,00

Nota: elaboración propia.

Los viveros, que son grandes coberturas de infraestructuras plásticas principalmente para producción de flores tipo exportación, aumentaron de 0,01 % en 1977 a un 1,78 % en 2015 sobre terrenos de agricultura tradicional, tal vez como respuesta a la depresión económica de este sector a partir de los años ochenta (SENA-CES, 1992) y el auge creciente del comercio internacional de flores colombianas, que según el Environmental Justice Atlas (2017) representa, en el área de estudio, el 85 % del total nacional. Los bosques plantados de especies foráneas como *Eucalyptus*

spp, *Pinus* spp, *Acacia* spp, *Cupressus* spp, muestran un incremento progresivo en este periodo, pasando de 0,55 % a 1,93 %.

Figura 2. Mapas resultantes del análisis de coberturas sobre el territorio de la cuenca alta del río Bogotá, entre los años 1977 y 2015



Nota: elaboración propia.

Las zonas urbanas muestran un claro incremento desde el inicio del periodo de análisis donde en 1977 presentan un 5,18% de cobertura, lo cual pasa a 12,50% en el 2015, si además sumamos las coberturas que se identificaron como infraestructura o industriales. En total, las áreas sin vegetación que agrupan canteras, desarrollos industriales, urbanos y viveros, principalmente a 2015, ocupan el 14,82% de la cuenca (tabla 1 y figura 2).

Las coberturas de bosques nativos, matorrales y vegetación subxerófica muestran disminución para un periodo de 38 años. En 1977, los bosques nativos ocupaban 20,34% y ya en 2015 su cobertura es del 11,28%, lo que indica una disminución del 44.5% de su cobertura original. La vegetación de páramo pasa de 7,27% en 1977 a 6,84%. Los matorrales también presentan un descenso importante de 9,20% a 2,85%. La vegetación subxerófica muestra igualmente una disminución de cobertura, pasando de 7,60% a 4,17% en 2015 (tabla 1 y figura 2). Este caso es muy particular, dado que los ecosistemas secos de la cuenca alta del río Bogotá, por sus condiciones drásticas de clima y pobreza en los suelos, son muy susceptibles a la erosión,

muchos de estos sectores muestran esos efectos con cárcavas profundas en el suelo. Dicha condición ambiental provocó que las autoridades ambientales regionales promovieran un plan de reforestación a inicio de los años noventa con especies foráneas de bajas exigencias ambientales y de rápido y permanente crecimiento, como son las especies *Acacia decurrens*, *Acacia melanoxylon*, *Eucalyptus globulus* y varias especies de coníferas, lo que, como se analizó antes, es en parte la razón del incremento en las plantaciones forestales.

Procesos de cambio que se definen entre t1 y t2

Los cambios identificados en las coberturas sobre el territorio de las coberturas t1 (año 1977) y t2 (año 2015) permiten definir procesos y evaluar el grado de transformación del entorno natural, lo cual se puede analizar como: la transformación o conversión de las coberturas naturales de la región, el cambio del paisaje y el tipo de apropiación que ha realizado la comunidad sobre el territorio, así como las tendencias que predominan y la dirección de estos cambios. Se observa que las coberturas de tipo

forestal están siendo reemplazadas por coberturas agrícolas, urbanas, plantaciones productivas, canteras y están en estrecho contacto con matorrales, que por lo general siempre forman parte de su borde.

En la figura 3 se identifican estos procesos en relación con la dirección del cambio de acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca alta del río Bogotá entre el periodo de 1977 y 2015, y se relaciona cada cobertura con los valores de tasa de cambio obtenidos.

Visualizando los resultados de t2, se constata que se ha transformado en la cuenca alta del río Bogotá el 70,54% del territorio, hay un 1,93% en proceso de alteración, el 0,53% está en degradación y solo quedan en conservación el 26,72% (tabla 2), teniendo en cuenta que en este último no se ha discriminado lo correspondiente a paramización (crecimiento de vegetación de páramo por debajo del nivel altitudinal esperado

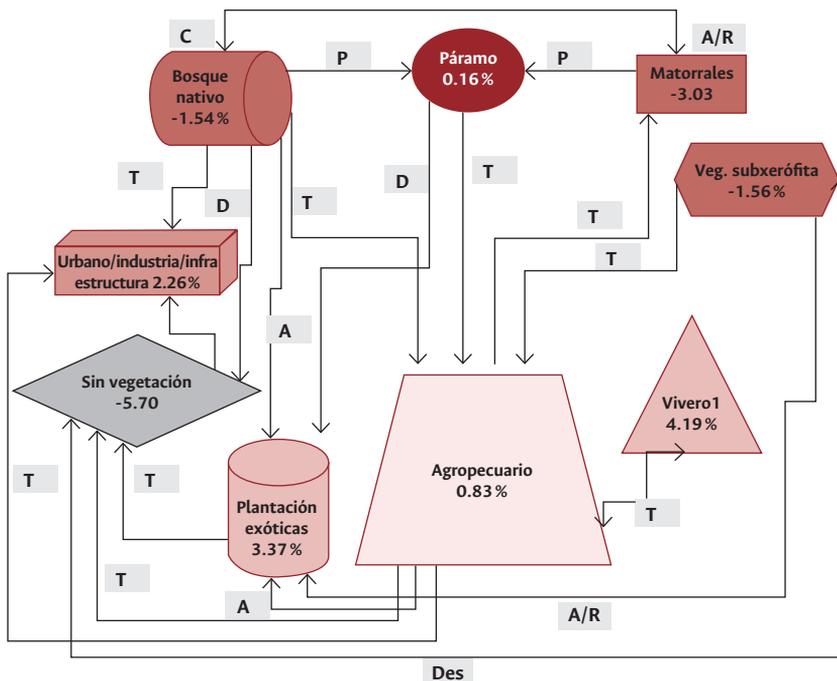
por causas antrópicas) y desertificación, lo cual puede bajar el porcentaje de conservación en cerca de un 7% (Cortés, 2008b).

Tabla 2. Interpretación general de los procesos de cambio en la cuenca alta del río Bogotá, en un periodo de 38 años

Proceso	Área (ha)	%
Conservación	114.365,16	26,72
Transformación	301.933,13	70,54
Alteración	8.256,44	1,93
Degradación	2.289,51	0,53
Sin información	1.197,65	0,28
Total	428.041,89	100,00

Nota: elaboración propia.

Figura 3. Dinámicas de transición entre las diferentes coberturas de la cuenca alta del río Bogotá



Nota: se identifican entre t1=1977 y t2=2015. Siendo C: Conservación, P: Paramización, Des: Desertificación, R: Regeneración, A: Alteración, D: Degradación y T: transformación. Elaboración propia.

Tasas de cambio entre 1977 (t1) y 2015 (t2)

Se analizó el periodo de 38 años y se identificó que las coberturas que mostraron aumento (tasas de cambio positivas) fueron en primer lugar los viveros (14,19%), lo que representó un au-

mento de 7.551,83 ha, las plantaciones forestales de exóticas (3,37%) con un incremento de 5.913,58 ha, las zonas urbanas (2,26%) con un incremento de 29.724,04 ha y las coberturas de tipo agropecuario (0,83%) con un aumento de 64.817,28 ha (tabla 3, figura 2).

Tabla 3. Comparación de las coberturas sobre el territorio de la cuenca alta del río Bogotá, periodo t1-t2

Clase general	t1-t4	1977-2015	Tasa de cambio	Efecto
	Área (ha)	%	%	
Bosques nativos	38.681,39	9,06	-1,54	Pérdida
Bosques plantados de exóticas	-5.913,58	-1,38	3,37	Ganancia
Vegetación de páramo	1.812,00	0,43	-0,16	Pérdida
Matorrales	27.143,29	6,35	-3,03	Pérdida
Vegetación acuática	0,36	0,00	0,00	Ganancia
Vegetación subxerófila	14.638,99	3,43	-1,56	Pérdida
Pastizales/cultivos/herbazales	-64.817,28	-15,10	0,83	Ganancia
Sin vegetación	18.976,82	4,44	-5,70	Pérdida
Viveros	-7.551,83	-1,76	14,19	Ganancia
Urbana	-29.724,04	-6,94	2,26	Ganancia
Cuerpos de agua	-131,19	-0,03	0,06	Pérdida

Nota: elaboración propia.

Las coberturas naturales que más disminuyeron fueron, en orden descendente, los bosques nativos, que perdieron 38.681,39 ha (-1,54%), lo que indica que la deforestación total anual promedio en el periodo de 38 años fue de 1.017,93 ha/año. Los matorrales perdieron 27.143,29 ha (-3,03%), seguidos por la vegetación subxerófila, que perdió 14.638,99 ha (-1,56%) y la vegetación de páramo, que perdió 1.812 ha (-0,16%). Las zonas sin vegetación tuvieron un descenso (-5,70%) de 18.976,82 ha, ya que se promovieron a plantaciones de exóticas y urbanización principalmente.

La disminución en la vegetación acuática se debe principalmente a que en la década de los setenta embalses como el del Muña, de reciente

construcción, dejaban ver su lámina de agua, posteriormente se cubrieron de este tipo de vegetación y para inicios del segundo milenio, debido a la eutrofización, las capas de vegetación acuática fueron limpiadas, con lo cual se observa su disminución reciente.

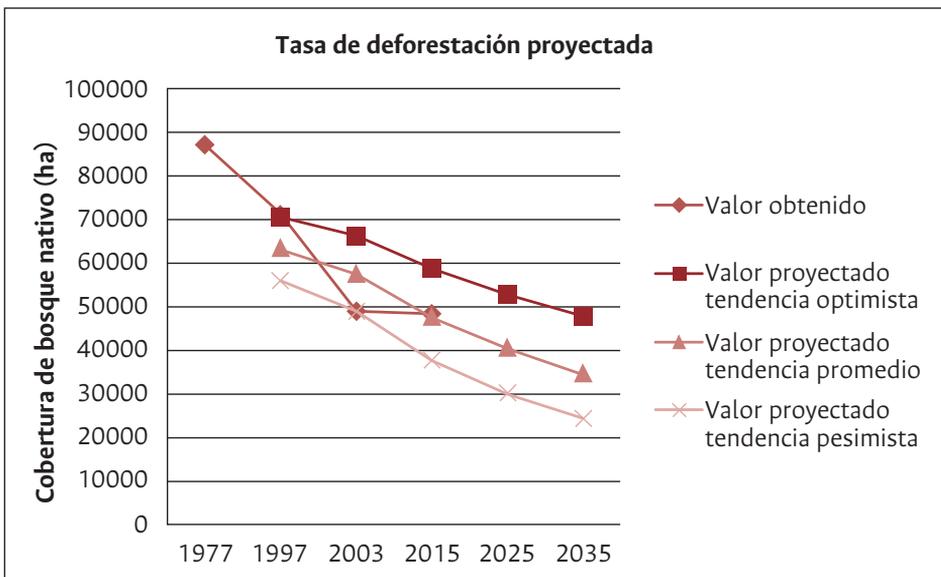
Respecto a la protección de la Reserva Forestal Protectora Productora de la cuenca alta del río Bogotá, se evidencia que ha carecido de control por parte de las autoridades ambientales, con lo cual se ha especulado en el valor y en el uso de la tierra, y se observa que pasó de proteger aproximadamente 428.000 ha a proteger 91.396,2 ha (Resolución 138 de 2014 y Resolución 456 de 2014), lo cual sumado a las sustracciones a dicha reserva, realizadas entre 2013 y 2014, implica

una reducción del 78,65% del área original, con tendencia a seguir disminuyendo, tanto por la inercia de la dinámica de transformación como por las sustracciones que siguen curso ante la autoridad ambiental (Cortés, 2016).

En la figura 4 se presentan los valores obtenidos de bosque nativo para 1977 y 2015 analizados en el presente artículo, junto con los valores obtenidos por Cortés (2016) para los años intermedios 1997 y 2003. De acuerdo con los valores obtenidos inicialmente, presentan una tendencia lineal y en el último periodo muestran una baja variación. Por otra parte, estos valores, al ser contrastados con las tasas de deforestación máximas, mínimas y promedio de los años intermedios (Cortés, 2016),

permiten graficar tendencias de los diferentes escenarios de comportamiento de la deforestación en el territorio, si esta siguiera un patrón lineal (figura 4). Los valores tendenciales promedio indican que a la tasa actual calculada de deforestación en 20 años solo quedarían en la cuenca alta 34.331 ha, en un panorama optimista 47.432 ha y en el escenario más pesimista 23.936 ha de bosque nativo (Cortés, 2016 p. 67), para el mismo tiempo, lo cual debe ser tenido en cuenta por las autoridades ambientales frente a los permisos de aprovechamiento forestal, control de tala en bosque nativo, sustracción de áreas protegidas o cambios de uso del suelo en áreas ya decretadas como suelos de protección o restauración ecológica.

Figura 4. Tendencia de la deforestación en bosques nativos del territorio de la cuenca alta del río Bogotá, con una tasa de deforestación de -1.59%



Nota: adaptado de "Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en la cuenca alta del río Bogotá", por Cortés 2016 (documento inédito). Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

La deforestación promedio anual para Colombia se estimó entre 1980 y 1990 en 1,3% para bosques densos y 1,4% para bosques fragmentados (Wino-grand, 1995), la tasa promedio aquí encontrada es superior a estos valores. En el contexto regional, el proceso de deforestación entre 2000 y 2005 indica que las áreas de cambio de bosque a coberturas de

pastos se concentraron para el país en general en las regiones Amazónica y Andina, presentando 278.111 ha y 185.260 ha, respectivamente. De manera similar, para el periodo entre 2005 y 2010 el mismo proceso de cambio de bosques a pastos representa 272.525 ha para la Amazonía y 198.047 para la zona Andina (Cabrera et al., 2011).

Una aproximación del Ideam para las coberturas naturales del departamento de Cundinamarca plantea que a esta escala administrativa se han perdido aproximadamente 287.000 ha de bosque alto andino y la paramización se estima en 73.426 ha (Alarcón et. al., 2002).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible anunció que Colombia redujo su tasa de deforestación promedio anual a 147.946 ha durante los años 2011-2012, comparadas con el periodo anterior 2005-2010, en el que se registraron 238.273 ha perdidas por año. Indican, a su vez, que los principales remanentes de bosque se encuentran en la región Amazónica y Andina, representando el 67% y 17% del total de área boscosa en el país, respectivamente (MADS e Ideam, 2013).

Posteriormente, la misma institución registró para el año 2015 que la tasa de deforestación en Colombia aumentó un 16%, especialmente en Caquetá, Antioquia, Meta, Putumayo y Chocó. La región Caribe presentó la mayor pérdida de bosque en todo el país. Un total de 140.356 ha deforestadas fueron registradas en 2014 como consecuencia de la minería y la tala ilegal, la conversión de bosques en pastizales para ganadería y agricultura, los incendios forestales y los cultivos ilícitos. Se presentó un incremento del 16% en comparación con 2013, cuando se registraron 120.934 ha deforestadas. Se reporta que la deforestación se sigue concentrando en la Amazonía, con el 45% del total nacional, y la región Andina, con el 24%. En la región Andina se perdieron 33.679 ha de bosque y en la Orinoquia 10.639 ha (El Espectador, 2014). Sin embargo, el último reporte del Ideam (Semana, 2017) indica que la deforestación se disparó en el país y que aumentó en relación con el 2016 en un 44%, siendo la región Andina la más deforestada del país, donde pasó de 29.263 ha perdidas en 2015 a 45.606 ha en 2016, acumulando el 26% de la deforestación en Colombia.

Para la cuenca alta del río Bogotá se identifica que los factores que más han contribuido a la transformación del paisaje son la actividad agropecuaria, seguidos por la urbanización, las canteras y los cultivos de flores bajo cubierta, factores que guardan relación con los acontecimientos políticos, administrativos y económicos de la región.

En los análisis comparativos de las coberturas, las áreas urbanas van en ascenso y en el último periodo incluso se observa una disminución de las áreas agrícolas. Pero no solo las áreas agrícolas se han visto afectadas por el fenómeno de la urbanización, también zonas con coberturas naturales de bosques y matorrales. Por otra parte, el Decreto 383 (2007) y Decreto 4051 (2007) incentivaron con múltiples beneficios por parte del Gobierno frente a la creación de zonas francas, con exención del pago de impuestos de remesas, de IVA para materias primas, estabilidad jurídica en el sentido de no modificar las normas mientras estén vigentes los contratos de las empresas usuarias de estas zonas. Dicha situación ha contribuido a la construcción en los municipios de los alrededores de Bogotá de estos megacomplejos industriales y bodegas, con compra de suelo rural y agrícola más económico de lo que sería en Bogotá y tras de ellos o en sus cercanías se incentiva la urbanización. Actualmente, el 25.3% de las zonas francas del país están localizadas en Cundinamarca y existen determinados incentivos adicionales según el municipio.

Toda esta dinámica en el cambio del uso del suelo empieza a mostrar conflictos en la cuenca alta del río Bogotá, evidenciando que no se respetó el carácter protector de la reserva forestal protectora-productora, tampoco la zonificación de manejo de los planes de ordenamiento de la cuenca y se fueron aprobando desarrollos y cambios en el uso del suelo que iban contra la norma y a la vista contra la estética del paisaje sabanero, hasta que el Viceministerio de Ambiente solicita las aclaraciones del caso a la autoridad ambiental regional CAR y termina esto con la Resolución 138 (2014), que redujo a su mínima expresión el área de la reserva forestal protectora-productora de la cuenca alta del río de Bogotá, producto de las interpretaciones de un mandato incompleto y que prefirió de entrada sustraer todos los desarrollos ya construidos o licenciados dentro de la reserva. La disminución del área de la reserva forestal sigue, ya que de 2013 a 2014 se han sustraído además 2402.71 ha adicionales y hay más sustracciones en curso.

Conclusiones

Las coberturas vegetales propias de la cuenca alta del río Bogotá, de acuerdo con la interpretación de la imagen de satélite Landsat ETM 2015, cubren aún 114365,16 ha que representan el 26.72 % del área total del área de estudio.

Para un periodo de 38 años, las coberturas de bosques naturales han disminuido en cerca de 38681.39 ha, cobertura que es la que más disminución muestra en la sabana de Bogotá. La cobertura actual de bosque nativo es de 48297.16 ha.

Siguen los matorrales que muestran una disminución de 27143.29 ha, seguidos por la vegetación de zonas secas que ha disminuido en 14638.99 ha.

Se presenta el fenómeno de paramización, lo cual es un llamado de atención frente a las consecuencias del cambio de uso del suelo y como expresión del cambio climático.

Las coberturas de tipo antrópico o transformadas pasaron en los años setenta de representar el 51.87 % a representar el 72.62 % del territorio de la cuenca alta del río Bogotá en la presente década, en tanto que las coberturas de tipo natural han tenido una baja ostensible del 35.36 % al 22.44 % en el mismo periodo.

De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que factores como la apertura económica con desprotección del campo, especulación en el valor de la tierra, descentralización de las políticas de uso del suelo y falta de claridad en la definición de la reserva forestal han sido los factores que han favorecido los cambios de uso del suelo hasta llegar a la situación actual de transformación de las coberturas naturales y de los suelos productivos de la cuenca alta del río Bogotá.

Es prioritario controlar eficientemente los aprovechamientos forestales en bosque nativo y evitar el aumento de áreas sustraídas de las reservas forestales o suelos protectores ya constituidas y en el mismo sentido las compensaciones sobre la afectación de estos recursos naturales deben ser realmente significativas en área, ubicación y función; igualmente, se debe fomentar la restauración ecológica con siembra de especies nativas

tanto en la planicie como en los cerros con el fin de proteger de manera integral los recursos naturales y servicios que estos están proporcionado a las comunidades humanas vecinas.

Referencias

- Acuña, C. (2010). *Identificación de áreas prioritarias de conservación enfocadas hacia la conectividad estructural del corredor Encenillo (municipios de La Calera, Guasca, Sopó, Sesquilé, Guatavita), Cundinamarca*. Trabajo de grado. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales-Ecología. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Alarcón, J., C. Barbosa, S. Cruz, D. Ramírez, F. Salazar, J. Triana, A. Lopera y T. van der Hammen. (2002). Transformación y cambio en el suelo en los páramos de Colombia en las últimas décadas. En: C. Castaño (ed.), *Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición de HotSpot & Global Climate Tensor* (pp. 211-222). Bogotá D.C.: Ideam.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2004). Plan de Ordenamiento Territorial. Secretaría Distrital de Planeación. Bogotá.
- Bastian, O. (2001). Landscape Ecology – towards a unified discipline? *Landscape Ecology*, 16(8), 757-766. <https://doi.org/10.1023/A:1014412915534>
- Cabrera E., Vargas D., Galindo G., García, M., Ordoñez M., Vergara L., Pacheco A., Rubiano, J. y Giraldo, P. (2011). *Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional – escalas gruesa y fina*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-Ideam-. Bogotá D.C.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. (2001). *Atlas ambiental del área CAR*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá*. Resumen ejecutivo. Bogotá D.C.:

- Corporación autónoma Regional de Cundinamarca.
- Cavelier, J. y A. Etter. (1995). "Deforestation of montane forest in Colombia as a result of illegal plantations of opium (*Papaver somniferum*)". In: Churchill, S.P.; Balslev, H.; Forero, E.; Luteyn, J.L (eds.), *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest* (pp. 541-549). The New York Botanical Garden.
- Conpes 3320. (2004). *Estrategia para el manejo ambiental del río Bogotá*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Correa C. (2008). Análisis del cambio en las coberturas vegetales de los Cerros Orientales de Bogotá en los últimos 40 años. *Revista Pérez-Arbelaezia*, (19), 112-123.
- Cortés S., O. Rangel y H. Serrano. (2004). Transformación de la cobertura vegetal en la alta montaña de la cordillera oriental de Colombia. *Lyonia a Journal of ecology and application*, 6(2), 153-160.
- Cortés S. (2008a). "La vegetación boscosa y arbustiva de la cuenca alta del río Bogotá". En: Estudios de ecosistemas tropandinos, Vol. 7. T. van der Hammen (ed.), *La cordillera Oriental colombiana*. Ecoandes; J.Cramer. Berlín-Stuttgart.
- Cortés S. (2008b). Vegetación potencial en la cuenca media del río Tunjuelo y procesos de cambio en la cobertura vegetal, otro enfoque metodológico para un análisis multitemporal. *Revista Perez-Arbelaezia*, (19), 189-204.
- Cortés S. (2016). *Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en la cuenca alta del río Bogotá*. (Trabajo Final de Máster, Universidad de Barcelona-Centro Universitario Internacional de Barcelona). Barcelona. [Inédito].
- Decreto 383. (2007). Por el cual se modifica el Decreto 265 de 1999 y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Hacienda y Crédito Público-Ministerio de Comercio Industria y Turismo. Presidente de la república. Recuperado de <http://www.mincit.gov.co/loader.php?lServicio=Documentos&lFuncion=verPdf&id=23085&name=decreto-383-2007.pdf&prefijo=file>
- Decreto 4051. (2007). Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 2685 de 1999 y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Presidente de la República. Recuperado de http://www.creg.gov.co/html/Ncompila/htdocs/Documentos/Energia/docs/decreto_4051_2007.htm
- Díaz M. (1993). *Transformación del paisaje de la sabana de Bogotá durante los últimos quinientos años*. Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. [Inédito].
- El Espectador. (2014). Aumenta 16% la tasa de deforestación en Colombia. Recuperado el 1° de octubre de 2016, de <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/aumenta-16-tasa-deforestacion-colombia-articulo-600483>
- Environmental Justice Atlas. (2017). Recuperado el 1° de octubre de 2016, de <https://ejatlas.org/conflict/floricultura-en-la-sabana-de-bogota-colombia>
- Etter, A. y Van Wyngaarden, W. (2000). Patterns of Landscape Transformation in Colombia, with Emphasis in the Andean Region. *ambio: A Journal of the Human Environment*, 29(7), 432-439. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.7.432>
- Etter A., C. McAlpine, K. Wilson, S. Phinn y H. Possingham. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114(2-3), 369-386.
- Etter, A., McAlpine, C. y Possingham, H. (2008). Historical Patterns and Drivers of Landscape Change in Colombia Since 1500: A Regionalized Spatial Approach, *Annals of the Association of American Geographers*, 98:1, 2-23.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (1996). *Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Number 130, p. 152. Roma. Recuperado el 15 de mayo de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/007/w0015e/w0015e00.htm>
- Forman, T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. New York: Cambridge University Press.
- Forman, T. y M. Godron. (1986). *Landscape ecology*. New York: Wiley.
- Gómez A. (2009). Estudio multitemporal de la dinámica de transformación espacial de la cobertura por crecimiento urbano, en una zona de la localidad de Suba, Bogotá-Colombia, en el periodo 1955-2006. Trabajo de grado. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales-Ecología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Gutiérrez M., G. Rodríguez, J. F. Mas (2016). Análisis Jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. Núm. 90, pp. 89-104, <http://dx.doi.org/10.14350/ig.48600>
- Hernández-Gómez, A., Rojas-Robles, R. y Sánchez-Calderón, F. (2013). Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 257-271. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.37024>
- Hirales C. M., J. Espinoza A., B. Schmook, A. Ruiz L., R. Ramos R. (2010). Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo sureste de México. *Ciencias Marinas* 36(2):147-159.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer, ORSTOM. (1984). *Estudio Regional Integrado del altiplano cundiboyacense*. Bogotá.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, iavh. (2013). *Síntesis del diagnóstico de la reserva forestal protectora productora de la cuenca alta del río Bogotá*. Convenio Interadministrativo N.º 34 De 2012 suscrito entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), La Corporación Autónoma Regional del Guavio - Corpoguavio y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH).
- Lambin, E, B. L. Turner, H. J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J.W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel y J. Xu. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 26-269.
- Ley 99. (1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones. Recuperado 10 de marzo de 2016, de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/leyes/6c-ley_0099_1993.pdf
- Lunt, I. D., y Spooner, P. G. (2005). Using historical ecology to understand patterns of biodiversity in fragmented agricultural landscapes. *Journal of Biogeography*, 32(11), 1859-1875. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01296.x>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS e Instituto de Estudios Ambientales, Ideam. (2013). Nueva tasa oficial de deforestación: Colombia reduce su deforestación a 147.946 hectáreas anuales. Recuperado el 25 de octubre de 2017, de

- [http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1059:el\(-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-394](http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1059:el(-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-394)
- McIntyre, S. y Hobbs, R. (1999). A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation Biology*, 13(6), 1282-1292.
- Mendoza J. y Etter, A (2002). Multitemporal analysis (1940-1996) of land cover changes in the southwestern Bogotá HIGHPLAIN (Colombia). *Landscape and Urban Planning*, 59(3):147-158. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00012-9)
- ONF Andina. (2016). Componente prospectiva de la RPPP cuenca alta del río Bogotá. En: Plan de Manejo Ambiental. [Inédito]. CAR-Corpoaguavio-CI.
- Puyravaud, J. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177: 593-596.
- Resolución 138. (2014, enero 31). Por la cual se realindera la Reserva Forestal Protectora Productora de la Cuenca Alta del Río Bogotá y se toman otras determinaciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia. Recuperado el 14 de marzo de 2016, de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/resoluciones/2014/res_0138_2014.pdf
- Resolución 456. (2014, marzo 28). Por la cual se modifica el artículo primero de la Resolución 138 del 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia. Recuperado el 14 de marzo de 2016, de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/resoluciones/2014/res_456_2014/Resoluci%C3%B3n%20456%20del%2028%20de%20Marzo%20de%202014.pdf
- Ríos O., S. M. (2015). Estudio multitemporal para la determinación de cambios en las coberturas en polígono dentro del tramo 5 El Rosal - El Vino de la ruta 50 de Cundinamarca para el periodo 2007-2014. Facultad de Ingeniería. Dirección de Posgrados. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá (Colombia).
- Seabrook, L., C. McAlpine y R. J. Fensham. (2006). Cattle, crops and clearing: Regional drivers of landscape change in the Brigalow Belt, Queensland, Australia, 1840-2004. *Landscape and Urban Planning*, 78: 373-85.
- Semana. (2017, julio 6). Deforestación en Colombia aumentó un 44% entre 2015 y 2016. Recuperado el 28 de octubre de 2017, de <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/deforestacion-en-colombia-2016-la-perdida-mas-grande-de-los-ultimos-25-anos/38156>
- Universidad Nacional de Colombia, Centro de Estudios Sociales (CES) y Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (1992). *Hacia dónde va la Sabana de Bogotá. Modernización, conflicto, ambiente y sociedad*. Bogotá D.C.
- Van der Hammen, T. (1998). *Plan ambiental de la cuenca alta del río Bogotá*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá D.C.
- Velázquez, A, J.F. Mas, J.R. Díaz-G., R. Mayorga, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Escurra y J.L. Palacio. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica. INE-Semarnat*. México, 62: 21-37.
- Viña, A. y J. Cavelier. (1999). Deforestation rates (1938-1988) of tropical lowland forest on the andean foothills of Colombia. *Biotropica*, 31: 31-36.
- Winograd, M. (1995). *Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras*. Grupo de análisis de sistemas ecológicos. San José, Costa Rica.
- Zonneveld, I. S. (1995). *Land Ecology: An Introduction to Landscape Ecology as a Base for Land Evaluation, Land Management and Conservation*. Amsterdam: SPB Academic Publishing.