

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES DE NIEBLA DE LOS ANDES COLOMBIANOS, UN ANÁLISIS MULTIESCALAR*

Mónica Morales R.¹, Dolors Armenteras P.²

Resumen

Se presenta un modelo espacial potencial de distribución para los bosques de niebla de los Andes colombianos, que contempla variables de tipo físico como la altitud, las provincias de humedad y la geomorfología. Se analiza el estado de conservación actual de estos ecosistemas a dos escalas diferentes (1:500.000 y 1:250.000) con base en métricas del paisaje. Pese a que se presentan diferencias apreciables en los índices de fragmentación, en ambas escalas se detecta que los bosques de niebla de la vertiente Occidental de la cordillera Central y de la vertiente Occidental de la cordillera Oriental son los más afectados por el cambio en el uso del suelo y la fragmentación. En contraposición, los bosques de niebla de la vertiente Oriental del Macizo central y los de la vertiente Oriental de la cordillera Oriental son los que presentan mejor estado de conservación, tanto en área remanente como en su estado de fragmentación.

Palabras clave: Bosque de niebla, Andes colombianos, Fragmentación.

COLOMBIAN ANDEAN CLOUD FORESTS CONSERVATION STATUS, A MULTISCALAR ANALYSIS

Abstract

A distribution potential spatial model for the Colombian Andes cloud forests is presented, which includes physical variables such as altitude, humidity provinces and geomorphology. The current condition of these ecosystems at two different scales (1:500,000 and 1:250,000) are analyzed based on landscape metrics. Although there are considerable differences in the fragmentation indexes on both scales, it was found that the cloud forests on the Western slopes of the Central Mountain Range and on the Western slopes of the Western Mountain Range are the most affected by change in the use of land and fragmentation. In contrast, the cloud forests on the Eastern slopes of the Central Mountain Range and on the Eastern slopes of the Western Mountain Range are the ones presenting better conservation condition, both in the remaining area and their fragmentation state.

Keywords: Cloud forest, Colombian Andes, Fragmentation.

* FR: 25-III-2012. FA: 11-II-2013.

¹ Autor para correspondencia. Estudiante de Doctorado en Ciencias – Biología. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. E-mail: mmmoralesr@unal.edu.co

² Profesora Asociada. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. E-mail: darmenterasp@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

El generalizado reconocimiento de Colombia como una nación megadiversa se deriva no sólo del hecho de que el país posee excepcionales niveles de riqueza y diversidad a nivel de especies y genes, sino también por la presencia de una considerable cantidad de ecosistemas, que son el resultado de la conjunción de factores de tipo físico (como el clima y la geología) y biótico (como la cobertura vegetal) (MADS, 2012). Entre esos ecosistemas se encuentra el bosque de niebla, llamado también bosque nublado, selva nublada, bosque nuboso de montaña, o *tropical montane cloud forest* (por su acepción en el idioma inglés). Éste es un ecosistema fuertemente influenciado por fenómenos climáticos, especialmente por la persistente humedad condensada en forma de nubes o niebla a nivel de la superficie. Es en estos ecosistemas, presentes en las regiones tropicales de América, Asia y África, donde se presentan de manera más o menos constante masas de nubes resultado de la condensación del aire que proviene de regiones bajas, húmedas y cálidas. (OJEDA, 2001; BUBB *et al.*, 2004; ARMENTERAS *et al.*, 2007; MULLIGAN & BURKE, 2005). Los bosques de niebla son reconocidos a nivel global por la cantidad y densidad de especies que poseen de angiospermas, musgos, aves, mamíferos, anfibios y reptiles (BRUIJNZEEL *et al.* 2010), y por su alto grado de endemismo en aves (BUBB *et al.* 2004) anfibios (DUELLMAN 1979, citado por CAVELIER *et al.*, 2002), plantas (GENTRY 1993) en particular de epífitas, hemiepífitas, briófitos y hepáticas (CAVELIER *et al.*, 2002).

A nivel global, BUBB *et al.* (2004) indican que la extensión potencial total de bosques de niebla asciende a unos 380.000 Km², que corresponden al 2,5% del área total global en bosques y al 11,7% de todos los bosques montañosos tropicales. De acuerdo con estos autores, Asia resulta ser el continente con mayor proporción de bosques de niebla (227.000 Km², 59,7%), seguido del continente americano, que concentraría una cuarta parte de la extensión potencial total de este ecosistema (96.000 Km², 25,3%). Una perspectiva llamativamente contrastante al respecto de la distribución potencial de bosques de niebla anteriormente citada es la que presentan MULLIGAN & BURKE (2005), quienes a partir de información hidrológica y climática desarrollaron un modelo para “bosques bajo exposición frecuente y/o persistente a nubosidad a nivel de la superficie”. Estos autores afirman que el área total global en bosques de niebla asciende a 2,21 millones de Km² (casi 6 veces más que lo reportado por BUBB *et al.* (2004)).

Si bien se presentan diferencias considerables entre estos autores, la realidad es que en ambos casos el territorio colombiano registra presencia de bosques de niebla que, en el caso de MULLIGAN & BURKE (2005) asciende a 152.281 Km² (lo que, de acuerdo con estos autores, lo convierte en el sexto país en extensión). En el país, estos ecosistemas se distribuyen desde el piso altitudinal basal, en la serranía de La Macuira, hasta la transición entre el bosque y el páramo (por encima de los 3.600 msnm) en sectores específicos de las tres cordilleras, y en formaciones montañosas aisladas como las Serranías de San Lucas, Baudó, La Macarena y la Sierra Nevada de Santa Marta (ARMENTERAS *et al.* 2007).

CAVELIER *et al.* (2001) afirman que esta distribución está relacionada con la ocurrencia de un fenómeno climatológico llamado “óptimo pluviométrico”, que corresponde a franjas altitudinales en las que se da un máximo en los niveles de precipitación. Para el caso de las cordilleras de los Andes colombianos, se presentan,

en general, dos óptimos pluviométricos: uno entre los 1.000 y 1.400 m s.n.m (límite inferior de los bosques subandinos) y otro entre los 3.600 y los 4.000 m s.n.m. (límite superior de los bosques andinos). Sin embargo, estos autores precisan que, en el caso de la cordillera Central, sólo se presenta un óptimo pluviométrico, a los 1.500 m s.n.m. en la vertiente Oriental, y a los 1.800 m s.n.m. en la vertiente Occidental. Este fenómeno, asociado con la neblina y la presencia de nubes producto de los vientos de montaña, es uno de rasgos más característicos del ecosistema de bosque de niebla montano, lo que favorece una distribución fragmentada y, además, los hace más susceptibles a los cambios ambientales (STILL *et al.*, 1999; FOSTER, 2001).

En este contexto, a escala global, BRUIJNZEEL (2002) y FOSTER (2001) coinciden en que el cambio climático es la mayor amenaza y fuerza desencadenante de cambios en la estructura y función de los bosques de niebla. Estudios realizados en Latinoamérica recalcan que entre las mayores amenazas para los bosques de niebla se deben a la incorporación de tierras al sectores productivos agropecuarios en México (MARTÍNEZ *et al.*, 2009); mientras que ARMENTERAS *et al.* (2007) afirman que para Colombia los principales detonantes de pérdida de los bosques de niebla son el crecimiento poblacional, la deforestación, el establecimiento de cultivos (incluidos los ilícitos), la cacería, la extracción maderera y de productos forestales no maderables, y el cambio climático. Estos ecosistemas han sido incluidos entre las prioridades de conservación del planeta, denominándosele como “hotspots” (MYERS *et al.*, 2000) y “como una de las ecoregiones” Global 200 (OLSON & DINERSTEIN, 2002).

El mapeo de la distribución potencial de la vegetación, definida como la vegetación que se establecería si todas las secuencias sucesionales se completaran sin mayores perturbaciones naturales o antrópicas bajo condiciones edáficas, climáticas y topográficas actuales (MUELLER-DOMBOIS & ELLENBERG 1974), permite una gran variedad de usos para el manejo del territorio. Estos incluyen el análisis de la biodiversidad y la planeación para la protección de especies, comunidades o servicios ecosistémicos claves. Los mapas potenciales se utilizan en ciencia y en el manejo de los recursos naturales para estratificar el territorio con respecto al medio ambiente y para aportar información para la planeación del territorio. Adicionalmente pueden junto con las variables ambientales proporcionar las bases para estudios científicos y ecológicos subsecuentes y para dar respuestas a preguntas relacionadas con el manejo de los recursos naturales (FRANKLIN, 1995).

Todas sus características ambientales y culturales han hecho que los bosques de niebla montanos adquieran una especial relevancia en el orden global. Siguiendo los lineamientos establecidos en la *Cloud Forest Agenda* (BUBB *et al.*, 2002) este trabajo aporta para Colombia información sobre el mapeo detallado de los bosques de niebla y la evaluación de su valor y estado de conservación a diferentes escalas. El objetivo de este trabajo es analizar el estado de conservación de los bosques de niebla en Colombia a partir de la modelación de su distribución potencial en el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a los Andes colombianos, incluyendo las cordilleras y los valles interandinos a partir de la cota altitudinal 400-500 msnm, lo que equivale a un área aproximada de 280.000 km². Con base en la información georeferenciada

de 116 localidades de bosque de niebla (ARMENTERAS *et al.*, 2007), se elaboró un modelo espacial de distribución potencial para este ecosistema (segmentado por cordillera y vertiente) que consideró las variables de altitud (SRTM, 2000) provincia de humedad (IGAC-CORPOICA, 2002) y geomorfología (IGAC-CORPOICA, 2002). Este modelo espacial se tradujo en un mapa de distribución potencial del bosque de niebla, que luego fue contrastado con la cobertura boscosa actual, reconocida en el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, (año 2000, escala 1:500.000) (IDEAM *et al.*, 2007) y el mapa de ecosistemas de los Andes colombianos (año 2000, escala 1:250.000) (RODRÍGUEZ *et al.*, 2004). Se obtuvieron así dos mapas de distribución actual del bosque de niebla, para la escala nacional (1:500.000) y regional (1:250.000). El análisis de fragmentación, para ambas escalas de análisis, se llevó a cabo bajo el software Fragstats, versión 3 (MCGARIGAL & MARKS, 2002). Se analizaron las siguientes métricas: 1) La cantidad de fragmentos, equivale al número de fragmentos de bosque de niebla. Es una medida simple del grado de subdivisión o fragmentación de una clase de fragmentos; 2) Área promedio del fragmento (ha), índice que hace parte de las estadísticas de distribución a nivel de clase de fragmentos. El promedio corresponde, como su nombre lo indica, a la sumatoria del área de cada uno de los fragmentos dividida con respecto al área total de su clase respectiva, en este caso bosques de niebla; 3) Forma promedio de los fragmentos (dimensión fractal), calculado como una proporción entre el perímetro del fragmento y el mínimo perímetro que tendría un fragmento con un área similar. El índice parte de 1 y aumenta su valor hasta 2 a medida que la forma del fragmento se hace más irregular. El promedio corresponde, como su nombre lo indica, a la sumatoria del índice de forma de cada uno de los fragmentos dividida con respecto al índice de forma total de su clase respectiva; y 4) Grado de aislamiento de los fragmentos (distancia promedio al vecino más cercano) o distancia euclidiana al vecino más cercano calculada a partir de las distancias entre el fragmento de interés y los pares que se encuentran en su cercanía. Emplea la fundamentación de la geometría euclidiana para establecer la distancia más corta borde-borde, calculada del centro de la celda al centro de la celda vecina cercana. Este índice se considera la medida más simple del contexto de los fragmentos y es empleada para establecer el nivel de aislamiento de los fragmentos. El promedio de este índice, por clase, corresponde, como su nombre lo indica, a la sumatoria de las distancias euclidianas al vecino más cercano de cada uno de los fragmentos dividida con respecto a la distancia euclidiana mínima total de su clase respectiva.

RESULTADOS

De acuerdo con el análisis de los factores de orden físico (altitud, provincias de humedad y geomorfología), los bosques de niebla andinos podrían ocupar un área de 9.722.697 ha en los Andes colombianos, un valor menor al reportado por MULLIGAN & BURKE (2005) (Figura 1). El 25,5% (2.476.737 ha) del área potencial corresponde a la Cordillera Oriental (vertiente Occidental), seguida de la Cordillera Oriental (vertiente Oriental) con un 21,8% (2.116.334 ha) y la Cordillera Central (vertiente Oriental) con un 18,4% (1.791.703 ha). La Cordillera Occidental (vertiente Oriental) es la que menos área potencial de bosque de niebla presenta con tan solo un 3,1% (297.587ha) seguida de la Cordillera Central (vertiente Occidental) con un 5,4% (521.430 ha) (Tabla 1). Cuando miramos el estado de conservación de estos bosques de niebla, referido como el porcentaje de remanente respecto al área potencial podemos observar que aunque el Macizo, vertiente Oriental no

representa una gran extensión de área de bosque de niebla (el 5.7%) es el mejor conservado con un 88.2% de su área potencial remanente según el mapa de escala nacional y muy similar un 92.74% en el caso del mapa de escala regional. Tanto a nivel nacional como regional las cifras coinciden en que la segunda área mejor conservada de bosque de niebla se encuentra en la Cordillera Oriental, vertiente Oriental con un 68,9 y 70,3% de área remanente respectivamente, seguido de la Cordillera Occidental, vertiente Occidental con cifras muy similares de 68.5% y 66.5% respectivamente. En el caso de la Cordillera Oriental, vertiente Occidental con mayor extensión total de bosque de niebla potencial, únicamente el 25% (en el caso de la escala nacional) y el 22,9% de los bosques de niebla prevalecen.

En el caso del estado de fragmentación de los bosques de niebla por Cordillera y vertiente se puede apreciar en la Tabla 2 que a escala nacional la vertiente Occidental de la Cordillera Central es la zona donde se presentan los fragmentos remanentes más pequeños (383,6 ha en promedio), coincidiendo también las cifras a escala regional con los tamaños de parches en promedio menores en esta zona del país (102 ha en promedio a escala 1:250.000), y unos valores más altos de dimensión fractal (1,07030 y 1,0640 a escalas nacional y regional). En términos de cantidad de fragmentos, la Cordillera Oriental en ambas vertientes tiene el mayor número de fragmentos remanentes con 699 en la vertiente Oriental y 560 en la Occidental según el mapa nacional. Lógicamente al cambiar de escala el número de fragmentos aumenta considerablemente (2.782 en la vertiente Oriental y 2.729 en la Occidental) pero se mantiene la posición como la zona con mayor número de parches como era de esperar por ser la zona con mayor extensión, no obstante el tamaño de los fragmentos no es de los mayores sino que ocupan el tercer (con 2.085 ha en promedio en la vertiente Oriental) y el sexto puesto (1.104 ha) respectivamente en tamaño promedio de los remanentes. En el caso de la vertiente Occidental de la Cordillera Oriental se presenta el mayor grado de aislamiento de los fragmentos indicando que esta zona de los Andes a pesar de contener la mayor extensión de área de bosque de niebla, el menor tamaño de los fragmentos, está en un proceso activo de aislamiento de los parches remanentes y por tanto altamente amenazado por el proceso de fragmentación. En términos de forma de los fragmentos realmente los resultados indican mucha homogeneidad entre las áreas, con los valores más altos de dimensión fractal de nuevo en la Cordillera Oriental vertiente Occidental de los Andes confirmando el alto nivel de fragmentación de esta zona. En el extremo opuesto de grado de fragmentación se encuentra el Macizo vertiente Oriental con el menor número de fragmentos (54 y 103 a escalas nacional y regional respectivamente) pero de mayor tamaño (9.092 a escala nacional y 5.010 a escala regional), menos aislado (825 y 563 a escalas nacional y regional respectivamente) y con la dimensión fractal menor (1,0639 a escala nacional y 1,0519 a escala regional), confirmando el buen estado de los bosques de niebla en esta zona del país.

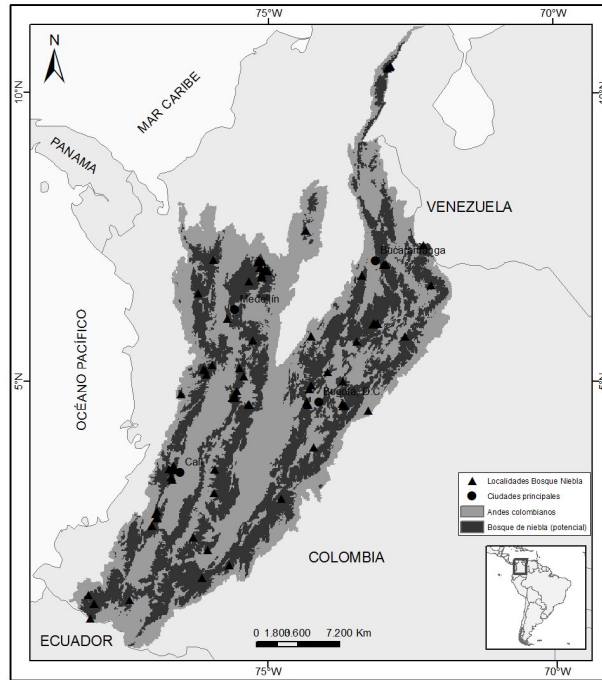


Figura 1. Distribución potencial de los bosques de niebla andinos de Colombia

Tabla 1. Área potencial y actual (año 2000) de los bosques de niebla de los andes colombianos

Cordillera / Vertiente	Área potencial (ha)	Área potencial (%)	Área actual escala 1:500.000 (IDEAM <i>et al.</i> , 2007)	Porcentaje remanente escala 1:500.000 respecto área potencial	Área actual escala 1:250.000 (RODRÍGUEZ <i>et al.</i> , 2004)	Porcentaje remanente escala 1:250.000 respecto área potencial
Occidental/Occidental	1.232.201	12,7	844.514	68,5	819.713	66,5
Occidental/Oriental	297.587	3,1	103.138	34,7	92.550	31,1
Oriental/Oriental	2.116.334	21,8	1.458.046	68,9	1.488.042	70,3
Macizo/Oriental	556.522	5,7	490.984	88,2	516.094	92,7
Macizo/Occidental	730.182	7,5	212.335	29,1	209.806	28,7
Oriental/Occidental	2.476.737	25,5	618.745	25,0	567.768	22,9
Central/Oriental	1.791.703	18,4	690.419	38,5	725.178	40,4
Central/Occidental	521.430	5,4	102.802	19,7	82.317	15,7
TOTAL	9.722.697	100	4.520.984		4.501.468	

Tabla 2. Métricas del paisaje para los bosques de niebla de los andes colombianos

Cordillera / Vertiente	Cantidad de fragmentos		Área promedio del fragmento (ha)		Forma promedio de los fragmentos (dimensión fractal)		Grado de aislamiento de los fragmentos (distancia promedio al vecino más cercano)	
	Escala 1:500.000	Escala 1:250.000	Escala 1:500.000	Escala 1:250.000	Escala 1:500.000	Escala 1:250.000	Escala 1:500.000	Escala 1:250.000
Occidental/ Occidental	282	853	2.994,7	961,0	1,0750	1,0593	887,06	462,00
Occidental/ Oriental	144	469	716,2	197,3	1,0670	1,0601	780,64	466,74
Oriental/ Oriental	699	2.782	2.085,9	534,9	1,0718	1,0560	531,08	341,53
Macizo/ Oriental	54	103	9.092,3	5.010,6	1,0639	1,0519	825,09	563,69
Macizo/ Occidental	185	581	1.147,8	361,1	1,0746	1,0618	682,13	408,55
Oriental/ Occidental	560	2.729	1.104,9	208,0	1,0756	1,0649	909,31	399,84
Central/ Oriental	449	1.901	1.537,7	381,5	1,0708	1,0637	736,31	350,56
Central/ Occidental	268	806	383,6	102,1	1,0730	1,0640	835,08	375,56

DISCUSIÓN

Debido a su ubicación, en las franjas subandina y andina de las tres cordilleras andinas, los bosques de niebla han sufrido considerables niveles de transformación, especialmente en la vertiente Occidental de la cordillera Central, la vertiente Occidental de la cordillera Oriental y la vertiente Occidental del Macizo Central, donde sólo persisten menos de una cuarta parte de los bosques originales. En contraposición, los bosques de niebla de la vertiente Oriental del Macizo Central y los de la vertiente Oriental de la cordillera Oriental son los que mejor estado de conservación en términos de extensión registran, tanto para la escala nacional como para la regional, con porcentajes de presencia superiores al 70%.

Del análisis de fragmentación y a partir de los resultados de las métricas del paisaje se concluye que la vertiente Occidental de la cordillera Central es la que presenta un mayor estado de fragmentación, que se expresa en fragmentos de tamaño pequeño relativamente aislados y de formas más irregulares. Similar situación se presenta en la vertiente Oriental de la cordillera Occidental. No obstante en la cordillera Oriental ambas vertientes se encuentran en un estado de fragmentación que debe ser monitoreado particularmente en la vertiente Occidental. A pesar de contener la mayor extensión de bosque de niebla el tamaño de los fragmentos en la vertiente Occidental es muy pequeño, de hecho similar a la vertiente Occidental del Macizo que solo representa el 7.5 de los bosques de niebla andinos en el país.

Y aunque el análisis del área actual para las escalas nacional y regional en principio no presenta diferencias considerables, cuando se analizan las métricas del paisaje es posible detectar el efecto que la escala de análisis tiene sobre la distribución

y configuración espacial de los fragmentos. En todas las cordilleras y vertientes, la escala más detallada (1:250.000) permite identificar una mayor cantidad de fragmentos, así como un área promedio inferior, formas promedio más regulares y menor grado de aislamiento entre los fragmentos. Los resultados obtenidos en este trabajo son un primer indicativo del estado de conservación de los remanentes de bosques de niebla y a partir de aquí es necesario analizar a escalas más detalladas (eg. 1:100.000) la transformación que está sucediendo en cada una de las cordilleras y sus vertientes, pero sobretodo es importante establecer si hay zonas críticas de fragmentación donde se esté poniendo en riesgo la conectividad de estos ecosistemas con las implicaciones que tendría para el movimiento y flujo de genes y especies en estos ecosistemas de por si tan frágiles ante fenómenos como el cambio climático. El desarrollo de escenarios de conservación ante los procesos de desarrollo, de uso del territorio, de fragmentación y de cambio climático deben ser el siguiente paso en el estudio de este ecosistema. Una vez establecidos estos escenarios, los gestores del territorio a nivel regional y nacional tendrán unas herramientas adicionales para la conservación de estos ecosistemas en los Andes de Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación contó con el apoyo de la División de Investigación de la Sede Bogotá de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, a través de la convocatoria “Apoyo de la DIB a tesis de investigación en posgrados”, con el proyecto titulado “Efectos del cambio en la cobertura y uso del suelo sobre la provisión de servicios ecosistémicos asociados con el recurso agua en los bosques de niebla montanos de Colombia”.

BIBLIOGRAFÍA

- ARMENTERAS, D., CADENA-V., C., MORENO, R.P. 2007. *Evaluación del estado de los bosques de niebla y de la meta 2010 en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia. 72 p.
- BRUIJNZEEL, L.A. 2002. *Hydrology of Tropical Montane Cloud Forests: a Reassessment*. En: UNESCO, CATHALAC. Hydrology and water management in the humid tropics. Proceedings of the Second International Colloquium. pp:353-474.
- BRUIJNZEEL, L.A., KAPPELLE, M., MULLIGAN, M., SCATENA, F.N. 2010. 72. Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world. pp. 691-740. En: Bruijnzeel, L.A., Scatena, F.N., Hamilton, L.S. (eds.) 2010. *Tropical montane cloud forests*. Science for Conservation and Management.
- BUBB, P., MAY, I., MILES, L., SAYER, J. 2004. *Cloud Forest Agenda*. UNEP-WCMC. Cambridge, UK. 32 p.
- CAVELIER, J., LIZCAÍNO, D., PULIDO, M.T. 2001. *Colombia*. pp. 443-496. En: Kappelle, M., Brown, A.D. (eds.) 2001. *Bosques nublados del neotrópico*. 704 p.
- FOSTER, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55:73-106.
- FRANKLIN, J. 1995. Predictive vegetation mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*. 19: 474-499.
- Gentry, A.H. 1993. Vistazo general a los bosques nublados andinos y a la flora de Carpanta pp: 67-80. En: Andrade, G.I. (ed.). *Carpanta, selva húmeda y páramo*. Fundación Natura, Colombia. 256 p.
- IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, I. SINCHI e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andreis e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C., 276 p. + 37 hojas cartográficas.

- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi y CORPOICA. 2002. Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia - Zonificación Agroecológica de Colombia. Escala 1:500.000.
- MADS. 2012. *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*. República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 133 p.
- Martínez, M.L., Pérez-M., O., Vásquez, G., Castillo-C., G., García-Franco, J., Mehltreter, K., Equihua, M. y Landgrave, R. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258:1856-1863.
- MCGARIGAL, K., SA CUSHMAN, MC NEEL, and E ENE. 2002. FRAGSTATS v3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: John Wiley and Sons. 547 p.
- MULLIGAN, M. and BURKE, S.M. 2005. *DFID FRP Project ZF0216 Global cloud forests and environmental change in a hydrological context*. Final Report. 74 p.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R., MITTERMEIER, C.G., DA FONSECA, G.A.B., KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- OJEDA, D. 2001. *Ecosistemas*. En: Leyva P. (ed.). *El medio ambiente en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ideam. Pp: 279-346.
- OLSON, D.M., DINERSTEIN, E. (2002). The Global 200: Ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89: 199-224.
- RODRÍGUEZ, N., D. ARMENTERAS, M. MORALES Y M. ROMERO. 2004. *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Instituto de Investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia 155 p.
- SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission. 2000. Modelo digital del terreno. Información cartográfica digital, tipo raster, celda de 92 m. National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Imagery Mapping Agency (NIMA), German Space Agency (DLR), Italian Space Agency (ASI).
- STILL, C.J, FOSTER, P.N., SCHNEIDER, S.H. 1999. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature*, 398: 608-610.