

# Procesos de transformación espacial de los bosques andinos en la microcuenca del río Guacha en el Encino, Santander (1978–1994–2006)<sup>1</sup>

Spatial transformation processes of the Andean forest in the microwatershed of the river Guacha, Encino-Santander (1978-1994-2006)

---

Wilson Fernando Gómez Anaya<sup>2</sup>

## Resumen

En Colombia, los ecosistemas andinos presentan fuerte intervención demográfica y económica, por consiguiente los paisajes naturales son transformados y fragmentados en el tiempo. El presente artículo profundiza en la escala local sobre los procesos de transformación del paisaje mediante un estudio integrado del mismo y su evolución durante los últimos 28 años. Los resultados identifican 28 geosistemas en la microcuenca, de los cuales doce contienen un paisaje antrópico y trece conservan un grado de naturalidad alto, así mismo se registró una tendencia a la estabilidad de los procesos de cambio. Los bosques andinos presentan una pérdida de 7,37 ha por año o una tasa de 0,23 %, y las zonas con mayor intervención están asociadas a áreas núcleo, por ende aumentan los efectos de borde y fragmentación. Los resultados permitirán planificar la microcuenca a partir de los procesos históricos de uso y la condición del paisaje, para así facilitar la construcción de alternativas de uso y conservación de los geosistemas.

---

1 Este artículo presenta algunos aspectos desarrollados durante la investigación y elaboración de la tesis de maestría en geografía denominada: Procesos de transformación espacial en la microcuenca del río Guacha, Encino Santander periodos (1978-1994-2006). La investigación fue cofinanciada por la fundación Natura y MacArthur Foundation en el marco del proyecto denominado: Consolidación del manejo forestal y adaptación al cambio climático en el corredor de robles Guantiva, La Rusia e Iguaque.

2 Ingeniero Forestal y Magister en Geografía, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Investigador asociado y SIG, Fundación Natura. Colombia. fernando982@gmail.com, wgoomez@natura.org.co

**Palabras clave:** procesos de transformación, geosistemas, paisaje, bosques andinos, dinámica del paisaje, escala local.

## **Abstract**

In Colombia, the Andean ecosystems have strong demographic and economic intervention; therefore natural landscapes are transformed and fragmented over time. This article deepens locally on landscape transformation processes through an integrated study of it and its evolution over the past 28 years. The results identify 28 geosystems in the watershed, of which 12 contain an anthropic landscape and 13 retain a high degree of naturalness; likewise, it was registered a trend of stability of the processes of change. The Andean forests exhibit a loss of 7.37 ha/year or a rate of 0.23 %, and areas with greater loss are associated with core areas, thus increasing edge effects and fragmentation. The results will allow the watershed planning through historical usage processes and condition of the landscape in order to facilitate the construction of alternatives of use and conservation of geosystems.

**Keywords:** transformation processes, geosystems, landscape, Andean forests, landscape dynamics, local scale.

## Introducción

El paisaje es configurado por condiciones abióticas (geoma), bióticas (bioma o ecosistema), en las cuales se desarrolla e interactúa el subsistema social y económico (subsistema antrópico), siendo este último el mayor promotor de la transformación espacial (Bolos, 1983). De igual forma, la heterogeneidad del paisaje es el resultado de las limitaciones ambientales, los procesos biológicos y los disturbios, que operan en cada escala espaciotemporal (Burel & Baudry, 2003). Por consiguiente, los altos niveles de disturbio presentes en todo el mundo, han creado en el campo científico un creciente interés por los mecanismos de transformación y autorregulación del territorio (Martínez de Pizón, 1998).

El espacio geográfico dominado por el paisaje natural y los ecosistemas, es el espacio con mayor recurrencia, intervenido modelado y definido por las actividades humanas y demográficas, con el objetivo de obtener energía y materiales para el desarrollo local, regional, nacional y global. En este contexto, las transformaciones del paisaje natural han aumentado considerablemente, siendo América del Sur la que registra la mayor pérdida neta de bosques en el mundo, con más de medio millón de hectáreas por año entre 1990 y 2010 (FAO, 2011).

Colombia no ha sido ajena a la transformación y la fragmentación de sus bosques, ya que se relaciona una deforestación anual de 100.903 ha por año entre 1990 y 2000, y una deforestación de 73.499 ha por año entre el 2000 y

2005; es decir, una tasa de deforestación del 0,6 % (Cabrera, Vargas, Galindo, García & Ordóñez, 2011). Los ecosistemas andinos han sido los de mayor intervención (280.000 km<sup>2</sup> o 24,5 % del territorio nacional), donde se identifica una concentración del 77,4 % de la población del país y un 85 % de la actividad económica (Rudas G. et al, 2007). De acuerdo con el mapa de ecosistemas de los Andes colombianos, se indica una extensión en bosques andinos y altoandinos remanentes aproximada de 3'761.129 ha, de las cuales 1'640.000 ha se distribuyen en la cordillera Oriental (Rodríguez, Armenteras, Morales & Romero, 2006). Henderson, Churchill, & Luteyn (1991) mencionan que en Colombia quedan menos del 10% de los bosques andinos originales.

Entre los ecosistemas andinos relevantes se identifican los bosques andinos de roble *Quercus humboldtii*. Por ser uno de los paisajes naturales con mayor amenaza, presión y grado de fragmentación (Armenteras & Morales, 2003), se han planteado políticas de protección y conservación de los recursos naturales para disminuir su transformación y reducción con la restricción al uso forestal, mediante Decreto 2811 de 1974 y posterior ampliación con la Resolución 096 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS.

El corredor de robles Guantiva, La Rusia e Iguaque (GRI), ubicado en la cordillera Oriental, es el núcleo de mayor extensión en el país (141.293 ha), donde se identifica a escala regional una pérdida de aproximadamente 10.500 ha, entre 1987 y 2002 (Rodríguez et al.,

2005). De igual forma se estableció la necesidad de precisar con mayor detalle cuáles son los factores e indicadores que han fomentado los procesos de transformación del paisaje andino, razón por la cual el presente artículo evalúa los procesos de cambio del paisaje desde el punto de vista geográfico.

En escalas detalladas, las geofacies presentan los componentes más sensibles y dinámicos de los geosistemas, como el suelo, la vegetación y los antropismos. Por consiguiente, en esta investigación se hizo un análisis de los procesos de transformación del paisaje a escala local, con el objetivo de i) identificar la estructura y dinámica del paisaje basado en la teoría de geosistemas, ii) analizar la fragmentación del componente ecosistémico, y iii) identificar la dinámica de los procesos de cambio en el paisaje de la microcuenca del río Guacha para tres temporalidades (1978, 1994 y 2006).

El análisis del paisaje a escala detallada permite determinar la estructura y dinámica biofísica y territorial con resultados de gran interés para evaluar y monitorear los factores de cambio, los estados y tendencias de un territorio, a fin de formular políticas y estrategias de conservación basadas en la realidad y la evolución de un espacio geográfico. El presente artículo identifica aspectos metodológicos y analíticos sobre un espacio concreto, basado en la teoría de los geosistemas, los análisis de fragmentación desde la ecología del paisaje y el estudio de la evolución del paisaje con relación al territorio y los bosques andinos de roble. De igual forma, este tra-

bajo se convierte en instrumento clave para la ordenación territorial y posterior desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación frente a los fenómenos de variabilidad climática.

## 1. Metodología

La metodología parte de la integración de técnicas tratadas desde la ecogeografía desarrollada por las escuelas francesa y rusa, a partir de autores como Bertrand (1974) Tricart y Kilian (1979), Bolos (1983), Olivencia (2000), Romero (2002), Florova (2006), entre otros, y metodologías relacionadas con la ecología del paisaje, como las propuestas por McGarigal y Marks, (1994), Francoise Burel y Baudry (2003). Teniendo en cuenta lo planteado por ellos, se orientó la investigación con base en la metodología propuesta por Gómez (2000) (Figura 1).

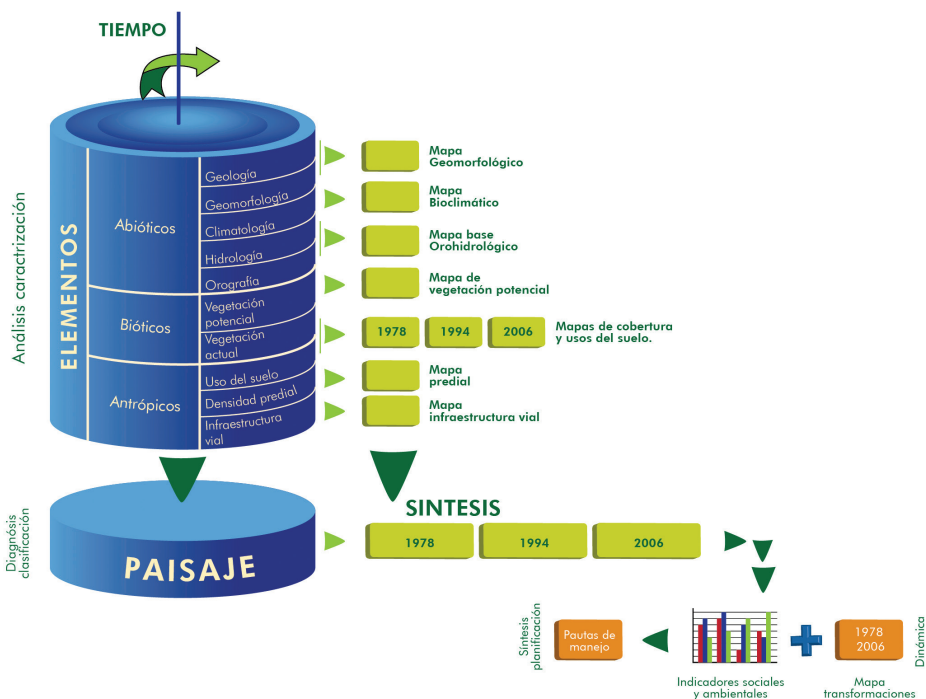
El desarrollo teórico parte desde el geosistema, que corresponde al nivel intermedio de observación (escalas 1:25.000 a 1:100.000), y en el cual se pueden relacionar e integrar las macroestructuras y las mesoestructuras del espacio geográfico. Las macroestructuras corresponden al nivel superior de las morfoestructuras, como el clima y las formaciones geológicas y geomorfológicas. Estas se caracterizan por presentar grandes extensiones, y su dinámica natural requiere de grandes periodos para manifestar cambios considerables (Romero, 2002). De igual forma se denomina el geoma o subsistema abiótico. Las mesoestructuras corresponden a los niveles bajos de manifestación es-

paciotemporal y son los componentes más inestables, dependientes y dinámicos. En este nivel se puede establecer el componente biológico a partir de las formaciones vegetales o ecosistemas, y el subsistema humano mediante las acciones de uso del suelo y organización del espacio geográfico.

La investigación es de carácter exploratorio, analítico e inductivo. Se inicia con la evaluación de los procesos de transformación del paisaje, mediante los tres componentes principales del geosistema: el sistema socioeconómico, como

los modos de producción desarrollados en el espacio geográfico; los sistemas biológicos, desde las características y estructura de los ecosistemas andinos boscosos, y los factores físicos determinantes de la base del geosistema. En ese sentido, la metodología establece los elementos constituyentes del paisaje para la construcción de los geosistemas y la posterior evaluación de la dinámica territorial en tres temporalidades, con base en la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales (1978, 1994 y 2006).

**Figura 1.** Esquema metodológico para valorar el paisaje integrado



**Fuente:** modificado de Gómez (2000)

Los elementos que intervienen en cada componente del geosistema se identifican en la Tabla 1, y se expone su desarrollo metodológico para estructurar la taxonomía de los geosistemas y los tipos de paisaje presentes en el área de estudio. Así mismo se determina la información temporal de la cobertura y el uso del suelo para los años 1978, 1994 y 2006. Al evaluar la dinámica y evo-

lución del paisaje asociado a los ecosistemas boscosos andinos y su grado de transformación espacial, se permite valorar la evolución del geosistema. Todos los elementos estructurales del geosistema y del paisaje se establecieron en un sistema de información geográfico, para posterior proceso de integración y análisis espacial.

**Tabla 1.** Proceso metodológico para obtener los elementos del paisaje y las temporalidades (1978–1994–2006)

ELEMENTOS DEL GEOSISTEMA (macro y mesoestructuras)		METODOLOGÍA
<b>FÍSICOS</b>	Cartografía base	Información secundaria obtenida mediante el IGAC y la Fundación Natura Colombia (1:25.000).
	Hidrológica	Red hídrica de la microcuenca (1:25.000).
	Geología	Cartografía secundaria temática, fuente Ingeominas (1:100.000)
	Geomorfología	Interpretación de fotografías aéreas para establecer las unidades geomorfológicas a escala 1:25.000. Elemento del componente físico o geoma para construir las unidades del geosistema.
	Climatología	Información de las estaciones meteorológicas de influencia en la región (IDEAM), para la creación del modelo hidroclimático Caldas–Lang. Información base para la obtención de las macroestructuras presentes en la microcuenca y construcción de las unidades del geosistema.
<b>BIÓTICOS</b>	Ecosistema potencial	Desarrollado a partir de análisis ecológicos implementados por Avella (2010) y correlacionados con el modelo climático de Lang para obtener así los ecosistemas potenciales de la microcuenca..
	Ecosistemas actuales en la microcuenca	Se ejecutó a partir de los ecosistemas potenciales y posterior integración de las tipologías de uso y cobertura del suelo, metodología Corine Land cover para el año 2006 (escala 1:25.000)

ELEMENTOS DEL GEOSISTEMA (macro y mesoestructuras)		METODOLOGÍA
ANTRÓPICOS	Cobertura y uso del suelo	Interpretación visual de fotografías aéreas ortorrectificadas e imágenes de satélite Spot, mediante la metodología Corine Land cover adaptada para Colombia (escala 1:25.000) y para las tres temporalidades establecidas 1978–1994–2006. Información base para la valoración del paisaje en cada geosistema e identificación de la dinámica y procesos de transformación.
	Acciones socioeconómicas	Análisis histórico de los procesos de transformación del paisaje en la microcuenca, mediante un estudio geohistórico. Caracterización de los sistemas de producción y acciones culturales que intervienen actualmente en la microcuenca, a partir de entrevistas (fuentes secundarias Fundación Natura, 2010).

Fuente: Gómez, W. F. (2012), estructura tomada de Gómez (2000).

Una vez establecidos los elementos en cada componente del paisaje, se desarrolló la taxocorología de los geosistemas de forma jerárquica, obteniendo así las unidades del geosistema a partir de las macroestructuras como el clima y la geomorfología (geofacies), y se definieron las mesoestructuras (geotopo) desde los ecosistemas y los elementos de cobertura y uso del paisaje para cada unidad o geosistema.

Después de clasificados los geosistemas, se definió la tipología de su paisaje de acuerdo con las tres temporalidades (1978, 1994, 2006), a fin de evaluar la dinámica y evolución del paisaje para las unidades del geosistema en la microcuenca. También se hizo un estudio de fragmentación para las coberturas de bosque andino mediante métricas en el paisaje, con base en el software Fragstats, desarrollado por McGarigal y Marks (1994).

Los resultados obtenidos sobre la estructura y dinámica del paisaje, permitieron evaluar la evolución del territorio de acuerdo con la intervención de los ecosistemas de roble (*Quercus humboldtii*), y facilitaron el reconocimiento de los procesos de transformación espacial, con la finalidad de brindar instrumentos para la ordenación ambiental de la microcuenca y la definición de la estructura ecológica principal de la misma.

## 2. Resultados

La microcuenca del río Guacha se ubica en las estribaciones de la ladera occidental de la cordillera Oriental de Colombia, en los municipios de Encino, departamento de Santander, y de Belén, departamento de Boyacá; geográficamente está ubicada a los 6°3'54,307" de latitud norte y a los 73°2'47,052" W

de longitud occidental. El área aproximada de la cuenca del río Guacha es de 27.545,46 ha, y el perímetro de 89.732,13 metros. Está compuesta por tres principales ejes hidrológicos, a saber: i) río Guacha (14.894 ha), ii) río Minas (10.025 ha) y iii) la quebrada La Lejía (2624 ha). La microcuenca, en orden jerárquico, hace parte de la subcuenca del río Pienta y posteriormente del río Fonce; este a su vez drena a la cuenca del río Suárez, que vierte más adelante sus aguas al río Sogamoso; por consiguiente la microcuenca hace parte de la gran cuenca del río Magdalena (Figura 2).

El subsistema o componente socioeconómico determinante en gran parte de los procesos de transformación, identificó en su análisis histórico un cambio acelerado del territorio a partir del siglo XIX, asociado a los conflictos armados sucedidos entre 1899 y 1902 (Parra, 2008). Más tarde, las guerras bipartidistas fomentaron la lucha por el territorio entre liberales, ubicados en Santander, y conservadores, establecidos entre Boyacá y Cundinamarca, situación que implicó un alto grado de alteración de los sistemas naturales en la región de la microcuenca del río Guacha.

El conflicto de tierras ocasionó la fragmentación y la pérdida de ecosistemas y la lucha por el territorio, por lo que en 1936 se dictó la Ley 200 sobre el régimen de tierras, en la cual se consagró el derecho de propiedad privada de tierras baldías, que consiste en la explotación económica del suelo por medio de hechos positivos propios del dueño, es decir la transformación del paisaje

natural en sistemas de producción. Esta situación determinó la transformación a gran escala de áreas en bosque de roble a sistemas agropecuarios.

Con relación al bosque andino, para principios del siglo XX la especie denominada roble o *Quercus humboldtii*, especie dominante en la cordillera Oriental, no representaba una mayor utilidad socioeconómica para el corredor de páramos Guantiva, La Rusia e Iguaque (López, 2006). No obstante, para mediados de siglo, la demanda de uso del bosque andino como recurso maderable se manifiesta por el desarrollo industrial del altiplano cundiboyacense, en consecuencia la intervención y transformación de las comunidades vegetales andinas hace que éstas sean diezmadas y fragmentadas.

Para la década del setenta del siglo pasado, el país desarrolló políticas ambientales tales como la expedición del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1974), en el que se estableció la restricción al uso de los bosques de roble para todo el país. En consecuencia, se redujeron los procesos de aprovechamiento industrial en el área pero su intervención local se mantuvo en la región. En la actualidad, la microcuenca presenta un incremento bajo en población, donde los sistemas de producción son el bovino (28 %), las especies menores (26 %), los equinos (21 %), el ovino (16 %) y porcinos (9 %); también se manifiesta un sistema agrícola basado en la producción de tubérculos (17 %) tubérculos y legumbres (49 %).



Hay que mencionar que el 34 % de los propietarios encuestados, informó de la inexistencia de producción agrícola, por ende el paisaje rural es dominado por el sector pecuario.

Estudios de uso y manejo de los recursos boscosos relacionan la utilización de 21 plantas leñosas por las comunidades, y se ha estimado el consumo diario por persona en  $3,6 \pm 1,35$  kg, es decir, 1.314 kg al año por persona (Díaz, 2010); también se identificó que el 65 % de la población de la microcuenca consume leña. En este contexto, los factores de presión actual a los ecosistemas de roble se presentan por los requerimientos de madera para uso doméstico, la presión por ampliación de la frontera productiva y la alta fragmentación predial.

El componente o subsistema físico de la microcuenca presenta condiciones climáticas regidas por alta humedad y un gradiente de elevación caracterizado por cuatro pisos térmicos (templado, frío, muy frío y páramo); la zonificación climática identificó siete provincias climáticas, lo cual indica alta variabilidad climática (Figura 2).

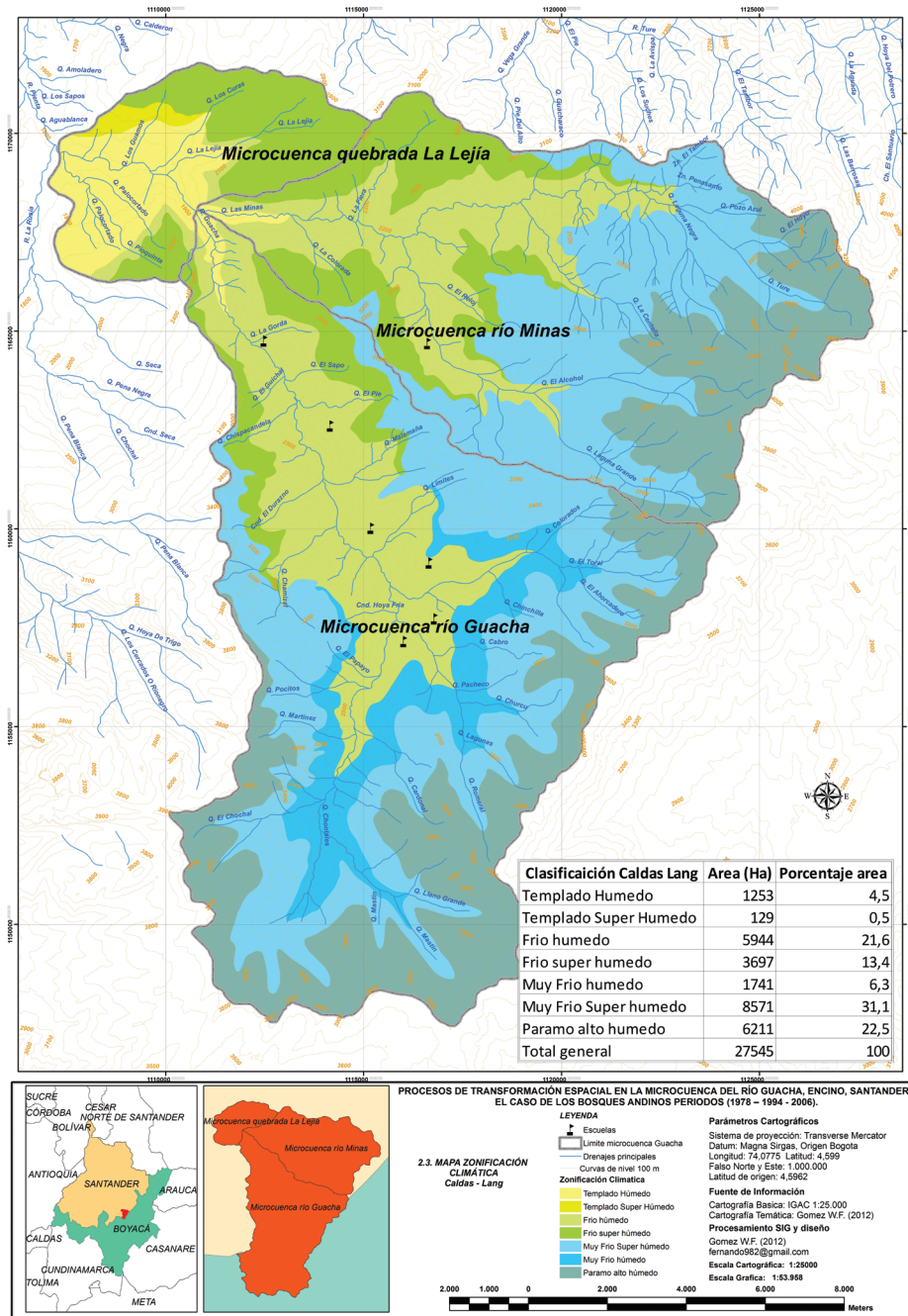
Se obtuvieron diez unidades geomorfológicas que presentan una evolución fuerte por el plegamiento y fallas estructurales de las doce formaciones geológicas identificadas para la microcuenca. En el paisaje predominan las geoformas montañosas de crestones homoclinales y crestas homoclinales abruptas de tipo estructural y geoformas de filas y vigas del tipo fluvio erosional para áreas con formaciones de rocas ígneas del batolito de Mogotes (Tabla 3).

Como se relaciona en la Tabla 3, la cuenca presenta el 30,7 % en crestones homoclinales con buzamiento mayor al 25 % y en concordancia con algunos escarpes y afloramientos rocosos, es decir, la presencia de suelos de baja capacidad de soporte al sistema socioeconómico actual. Le siguen en área las crestas homoclinales abruptas, ubicadas al norte y occidente de la cuenca, las cuales determinan el límite hidrográfico de esta y hacen parte del sistema de páramos de La Rusia.

Al manifestarse crestas y crestones homoclinales, es evidente la presencia de laderas erosionales donde se alcanza un nivel vertical o subvertical, principalmente en el occidente de la cuenca. Estos son los escarpes, que alcanzan un 12,1 % del área de la cuenca. Los glacis presentan un 6,3 % del área de la cuenca y hacen referencia a vallecitos estrechos y lomas onduladas generadas por la deposición gradual de capas de suelo y así mismo por las dinámicas fluviales de drenajes o ríos que pasan cerca.

Los principales glacis se encuentran conformados al pie de los crestones homoclinales y en menor proporción hacia la quebrada Minas, donde esta geoforma presenta el mayor grado de transformación. Las crestas ramificadas (12,1 %) se asocian directamente con las formaciones geológicas del Triásico, correspondientes a rocas ígneas de riolitas las cuales se erosionan rápido. En cuanto al paisaje glaciar y glaci-fluvial se identifica un 13 % del área en relación con artesis glaciares y campos de morrenas, por consiguiente la existencia de procesos de flujo y deposicionales

Figura 2. Mapa base y zonificación climática de la microcuenca del río Guacha.



Fuente: Gómez W.F. (2012)

**Tabla 2.** Zonificación climática Caldas–Lang para la microcuenca del río Guacha

Clasificación Caldas Lang	Área (ha)	Porcentaje área
Templado húmedo	1253,23	4,5 %
Templado súper húmedo	129,02	0,5 %
Frio húmedo	5944,28	21,6 %
Frio súper húmedo	3696,53	13,4 %
Muy frío húmedo	1740,66	6,3 %
Muy frío súper húmedo	8570,65	31,1 %
Páramo húmedo	6211,08	22,5 %
<b>Total general</b>	<b>27545,46</b>	<b>100,0 %</b>

Fuente: Gómez, W.F. (2012).

**Tabla 3.** Unidades geomorfológicas identificadas en la cuenca del río Guacha

GEOFORMA	Suma de ha	Porcentaje
Artesas glaciares (Ag)	1956,14	7,1 %
Campo de morrenas (Cm)	1628,24	5,9 %
Crestas homoclinales abruptas (Ca)	5452,53	19,8 %
Crestas ramificadas (Cr)	3341,24	12,1 %
Crestones homoclinales (Ch)	8452,73	30,7 %
Cuestas (Cu)	250,00	0,9 %
Escarpes (Ec)	3332,12	12,1 %
Glacis (Gc)	1746,96	6,3 %
Lomas (Lo)	1031,94	3,7 %
Vallecitos (Vc)	354,23	1,3 %
<b>Total general</b>	<b>27546,13</b>	<b>100 %</b>

Fuente: Gómez, W.F. (2012).

que determinan la presencia de varias lagunas en la parte alta de la cuenca. En menor proporción se reconocen las lomas asociadas a los glacis de coluvión y próximas a los crestones y crestas homoclinales presentes en la microcuenca del río Guacha y las cuales facilitan el establecimiento de los sistemas de producción.

En relación con el componente biológico o subsistema biótico, la especie de roble “*Quercus humboldtii*”, característico del bosque andino, se define como un joven inmigrante en Colombia. El registro palinológico muestra polen de roble en los sedimentos que datan de 25.000 a 340.000 años AP (Hooghiemstra & Sarmiento, 1991). La migración

relativamente reciente de este género a América del Sur se correlaciona con la elevación de los Andes durante el Plioceno y la formación del istmo de Panamá.

De acuerdo con las unidades ecológicas identificadas, la formación vegetal dominante en la microcuenca es el ecosistema de páramo muy húmedo (30 %), lo que establece un territorio dominado por la alta montaña y condiciones extremas de temperatura y humedad. En relación

con los bosques de roble, se clasificaron en tres regiones de vida, a saber, subandino (8,8 %), andino (20,9 %) y alto andino (49,1 %). En este sentido se evidencia el dominio del ecosistema de roble principalmente en la región de vida altoandina con un 49 % del área de estudio (Figura 3). Lo anterior define a la microcuenca como de alta relevancia para la conservación de los ecosistemas boscosos de roble y, de igual forma, para mantener los servicios ecosistémicos en la microcuenca.

**Tabla 4.** Ecosistemas potenciales de la microcuenca del río Guacha

<b>Ecosistema potencial</b>	<b>Ha</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque altoandino húmedo	3020,31	11,0
Bosque altoandino muy húmedo	4991,62	18,1
Bosque andino húmedo	3765,89	13,7
Bosque andino muy húmedo	1994,15	7,2
Bosque subandino húmedo	1924,86	7,0
Bosque subandino muy húmedo	489,83	1,8
Páramo muy húmedo	8430,75	30,6
Subpáramo húmedo	151,73	0,6
Subpáramo muy húmedo	2776,32	10,1
<b>Total general</b>	<b>27545,46</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Andrade, Avella & Gomez W. F. (En prensa)

En la actualidad, la mayor distribución espacial de los ecosistemas, es el páramo muy húmedo con un 98,2 %, el subpáramo muy húmedo con 82,7 %, y el bosque altoandino muy húmedo con un 77,8 %. En contraste, en los ecosistemas con mayor pérdida y menor área se identifica el bosque subandino muy húmedo (28,3 %), el bosque subandino húmedo (26,6 %), el bosque andino hú-

medo (35,7 %) y el bosque altoandino húmedo (37,5 %).

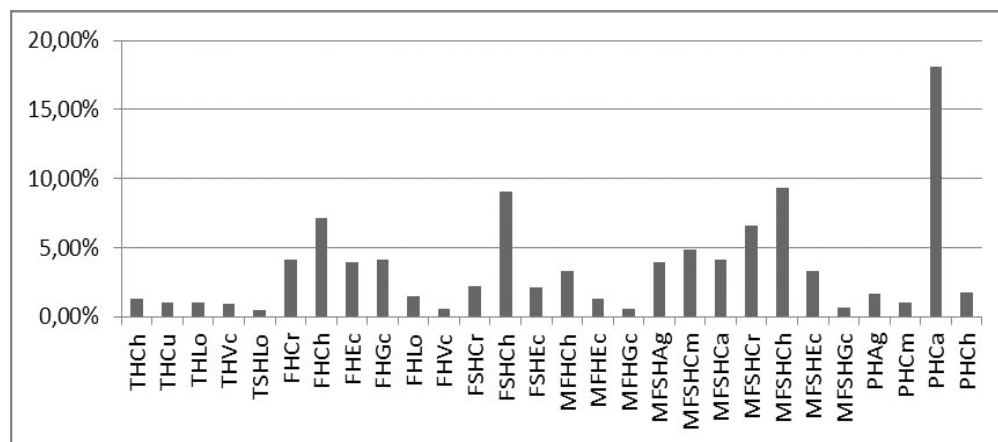
### **2.1 Geosistemas y paisaje de la microcuenca**

A partir de los componentes del paisaje se obtuvieron 28 geosistemas estructurantes del paisaje (Tabla 5). Los geosistemas de mayor representatividad se relacionan con fuertes pendientes en

crestones homoclinales y condiciones climáticas húmedas a muy húmedas; el 18,11 % del área está representado por el geosistema de páramo húmedo en crestones homoclinales, seguido del geosistema muy frío súper húmedo en crestones homoclinales (9,31 %), el geosistema frío súper húmedo en crestones homoclinales (9,03 %) y el frío húmedo en crestones homoclinales (7,19 %). Los geosistemas menos representativos para la microcuenca, están asociados a zonas de valle y formacio-

nes coluviales de la cuenca; entre ellos se identifican el geosistema muy frío súper húmedo en glacis (0,65 %), geosistema frío húmedo en vallecitos (0,58 %), geosistema templado súper húmedo en lomas (0,46 %). La condición de los geosistemas determina un paisaje fuerte con condiciones bajas para el soporte de las actividades humanas actuales, por consiguiente domina el componente físico y ecosistémico donde se mantienen algunas áreas en bosque natural y otras con baja intervención (Figura 3).

**Figura 3.** Porcentaje de área de los geosistemas presentes en la microcuenca del río Guacha.

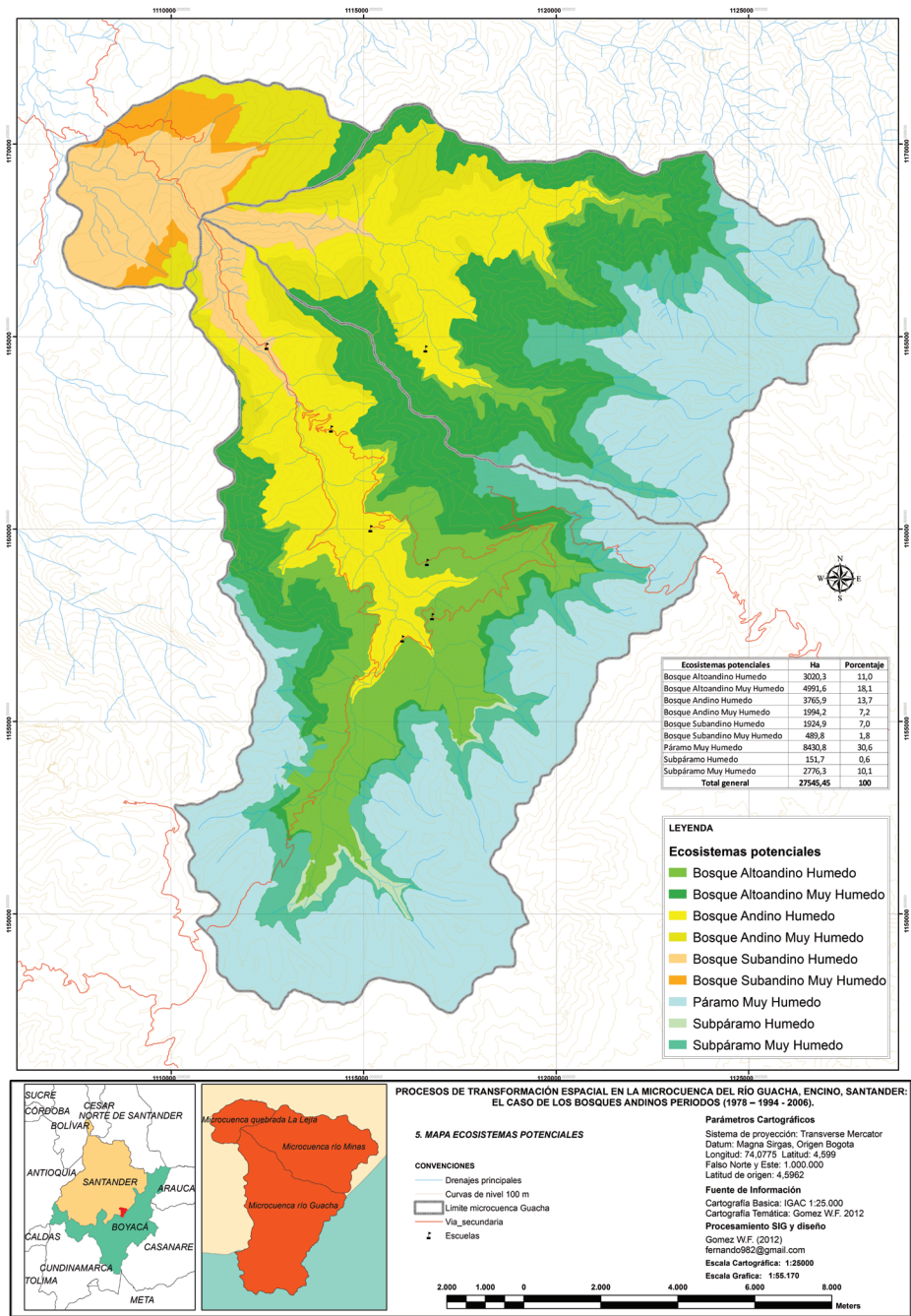


Fuente: Gómez, W.F. (2012).

Los geosistemas con alta actividad humana y por consiguiente un paisaje rural de producción agropecuaria tradicional de alta montaña, se identifican en doce geosistemas; entre los representativos están el geosistema templado súper húmedo en lomas - TSHLo (93,35 % paisaje antrópico), geosistema templado húmedo en lomas - THLo (88,69 %), geosistema frío húmedo en vallecitos - FHVc (81,02 %), geosistema templado

húmedo en crestones homoclinales - THCh (77,93 %), geosistema templado húmedo en cuestras - THCu (77,51 %), geosistema frío húmedo en crestones homoclinales - FHCh (76,94 %), geosistema templado húmedo en vallecitos - THVc (73,29 %), geosistema frío húmedo en lomas - FHLo (71,84 %), geosistema frío húmedo en glacis - FHGc (66,77 %) y geosistema frío húmedo en escarpes - FHEc (63,71 %).

**Figura 4.** Mapa de ecosistemas potenciales de la microcuenca del río Guacha.



Fuente: Gómez, W.F. (2012); Software Arc Gis 9.x

**Tabla 5.** Unidades macroestructurales del geosistema de la microcuenca del río Guacha

N	Unidades macroestructurales del geosistema	Símbolo	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Geosistema templado húmedo en crestones homoclinales	THCh	356,57	1,29 %
2	Geosistema templado húmedo en cuestras	THCu	274,62	1,00 %
3	Geosistema templado húmedo en lomas	THLo	286,16	1,04 %
4	Geosistema templado húmedo en vallecitos	THVc	264,29	0,96 %
5	Geosistema templado súper húmedo en lomas	TSHLo	126,52	0,46 %
6	Geosistema frío húmedo en crestas ramificadas	FHCr	1139,99	4,14 %
7	Geosistema frío húmedo en crestones homoclinales	FHCh	1979,29	7,19 %
8	Geosistema frío húmedo en escarpes	FHEc	1097,51	3,98 %
9	Geosistema frío húmedo en glacis	FHGc	1137,59	4,13 %
10	Geosistema frío húmedo en lomas	FHLo	397,36	1,44 %
11	Geosistema frío húmedo en vallecitos	FHVc	159,32	0,58 %
12	Geosistema frío súper húmedo en crestas ramificadas	FSHCr	599,83	2,18 %
13	Geosistema frío súper húmedo en crestones homoclinales	FSHCh	2487,61	9,03 %
14	Geosistema frío súper húmedo en escarpes	FSHEc	581,03	2,11 %
15	Geosistema muy frío húmedo en crestones homoclinales	MFHCh	920,51	3,34 %
16	Geosistema muy frío húmedo en escarpes	MFHEc	356,73	1,30 %
17	Geosistema muy frío húmedo en glacis	MFHGc	145,35	0,53 %
18	Geosistema muy frío súper húmedo en artesas glaciares	MFSHAg	1075,18	3,90 %
19	Geosistema muy frío súper húmedo en campo de morrenas	MFSHCm	1338,32	4,86 %
20	Geosistema muy frío súper húmedo en crestas homoclinales abruptas	MFSHCa	1125,42	4,09 %
21	Geosistema muy frío súper húmedo en crestas ramificadas	MFSHCr	1805,45	6,55 %
22	Geosistema muy frío súper húmedo en crestones homoclinales	MFSHCh	2564,75	9,31 %
23	Geosistema muy frío súper húmedo en escarpes	MFSHEc	922,97	3,35 %
24	Geosistema muy frío súper húmedo en glacis	MFSHGc	178,14	0,65 %
25	Geosistema páramo alto húmedo en artesas glaciares	PHAg	460,82	1,67 %
26	Geosistema páramo alto húmedo en campo de morrenas	PHCm	279,18	1,01 %
27	Geosistema páramo alto húmedo en crestas homoclinales abruptas	PHCa	4989,24	18,11 %
28	Geosistema páramo alto húmedo en crestones homoclinales	PHCh	495,72	1,80 %
	TOTAL		27.545,4	100,00 %

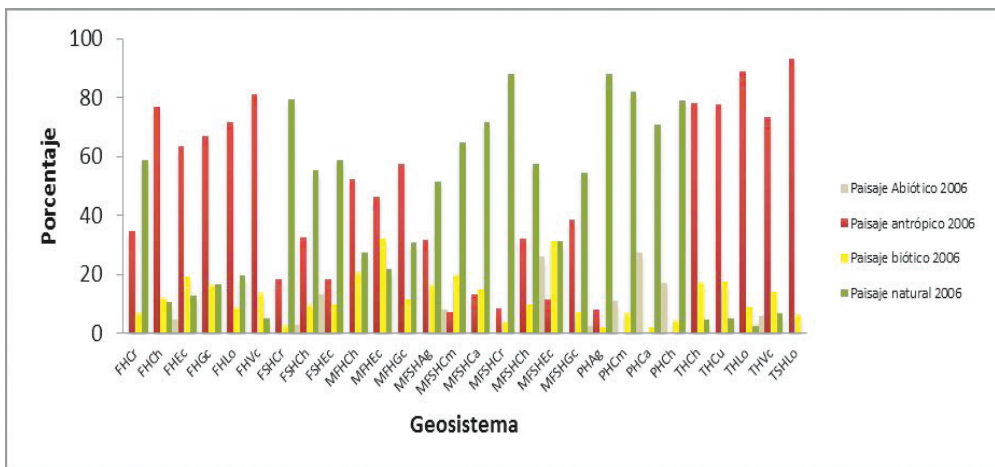
Fuente: Gómez, W.F. (2012).

Con relación a los geosistemas con un paisaje natural, es decir, con baja presencia del subsistema socioeconómico, podemos considerar trece unidades, entre las representativas están el geosistema de páramo alto húmedo en artesas glaciares - PHAg (87,97 %), geosistema muy frío súper húmedo en crestas ramificadas - MFSHCr (87,78 %), geosistema páramo alto húmedo en campo de morrenas - PHCm (82,02 %), geosistema frío súper húmedo en crestas ramificadas FSHCr (79,26 %), geosistema páramo alto húmedo en crestones homoclinales - PHCh (78,74 %), geosistema muy frío súper húmedo en crestas homoclinales abruptas - MFSHCa (71,59 %), geosistema páramo alto húmedo en crestones homoclinales - PHCh (70,78 %) y geosistema muy frío súper húmedo en campo de morrenas - MFSHCm (64,91 %). Lo anterior evidencia la fuerte dominancia de climas extremos

de altitud y condición climática, así mismo, la presencia de ecosistemas de páramo y subpáramo (Figura 5).

Cada geosistema presentó una dinámica de cambios en las tres temporalidades valoradas (1978–1994–2006), en consecuencia se identificó una tasa de transformación de 0,26 % anual, donde la mayor transformación del paisaje se presentó en el geosistema frío húmedo en crestas ramificadas con un 7,45 % de transformación en área, por consiguiente el territorio no presenta fuertes intervenciones durante los últimos 34 años, en ese sentido los procesos tienden a estabilizarse. En contraste, los geosistemas con menor alteración a los sistemas naturales hacen parte de los territorios naturales con mayor dificultad de acceso, menor capacidad de soporte al subsistema socioeconómico, y la presencia de un dominio del subsistema abiótico.

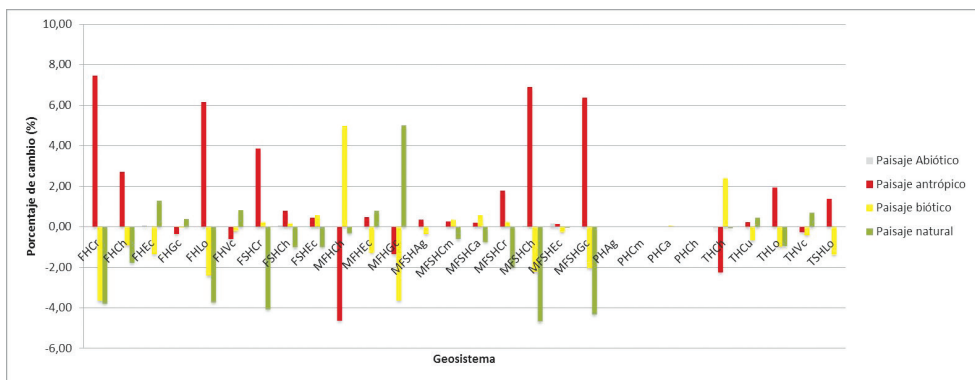
**Figura 5.** Unidades del paisaje para los geosistemas presentes en la microcuenca del río Guacha.



Fuente: Gómez, W.F. (2012).



**Figura 6.** Dinámica de los paisajes en relación con los geosistemas de la microcuenca del río Guacha.



Fuente: Gómez, W.F. (2012).

Se relacionó el porcentaje de pérdida o ganancia para cada geosistema (Figura 6), donde el paisaje antrópico incrementó en los geosistemas de crestones homoclinales y crestas ramificadas, presentándose así una pérdida del paisaje natural de los ecosistemas boscosos de roble (*Quercus humboldtii*). Los paisajes bióticos o aquellos mosaicos con alta heterogeneidad entre coberturas naturales y antrópicas, disminuyó de igual forma. Esta tendencia fomentará un paisaje homogéneo y la especialización de los geosistemas por ende se provocará un desequilibrio entre los sistemas naturales de regulación y soporte, aumentando de esta forma la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y ecosistémicos frente a cambios climáticos (Figura 7).

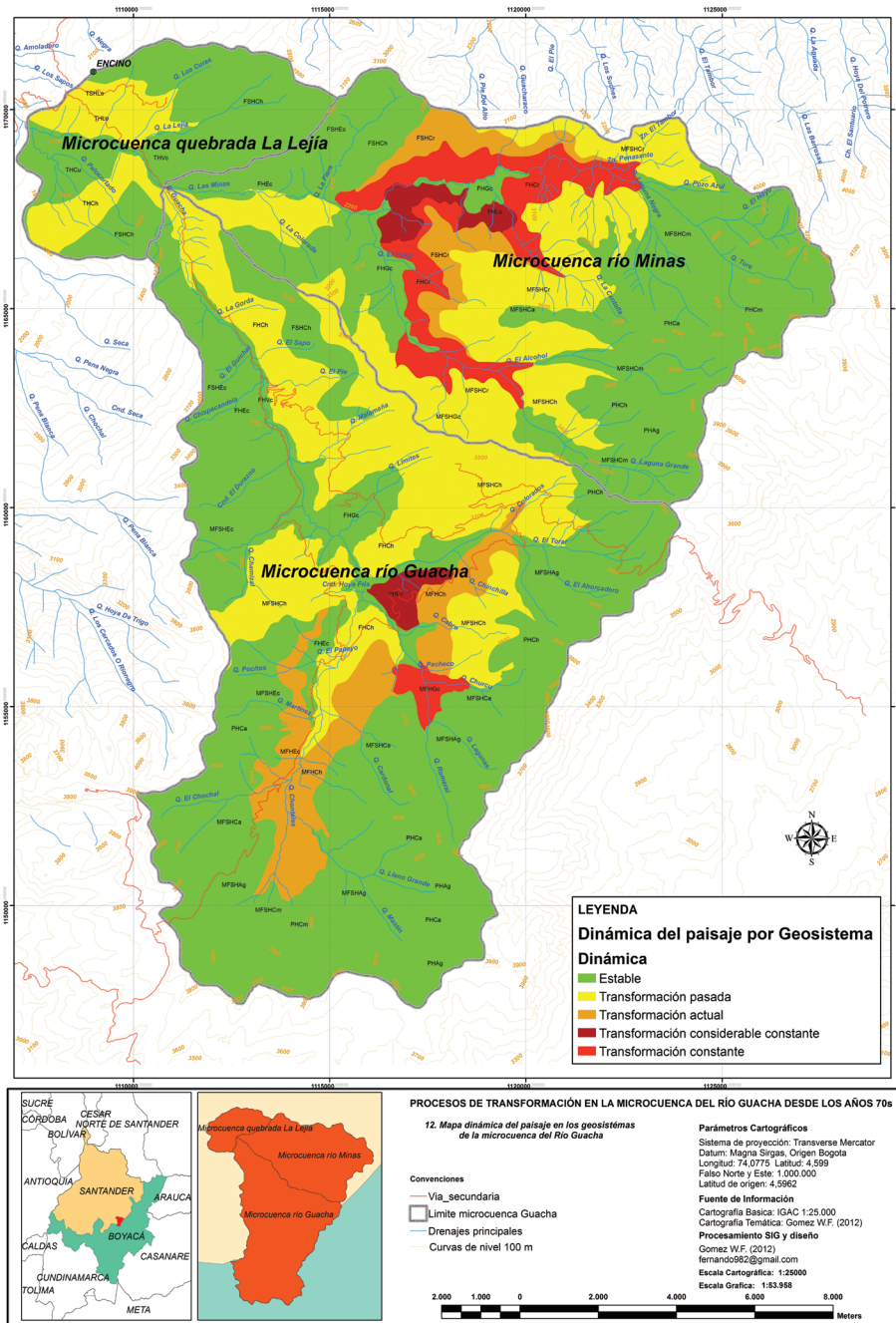
## 2.2 Fragmentación del paisaje andino boscoso en la microcuenca

Se identificaron los parches de cobertura y uso del suelo para cada temporalidad donde los bosques andinos de roble au-

mentaron en 26 parches durante los 28 años valorados. Por consiguiente se ha producido un proceso de intervención o fragmentación del bosque natural principalmente en los geosistemas en crestones y crestas ramificadas hacia el sector de la quebrada Minas (Figuras 7 y 8). El cambio en el uso del suelo se manifiesta por el aprovechamiento forestal y posterior establecimiento del sistema ganadero extensivo, aun en áreas de baja capacidad de soporte.

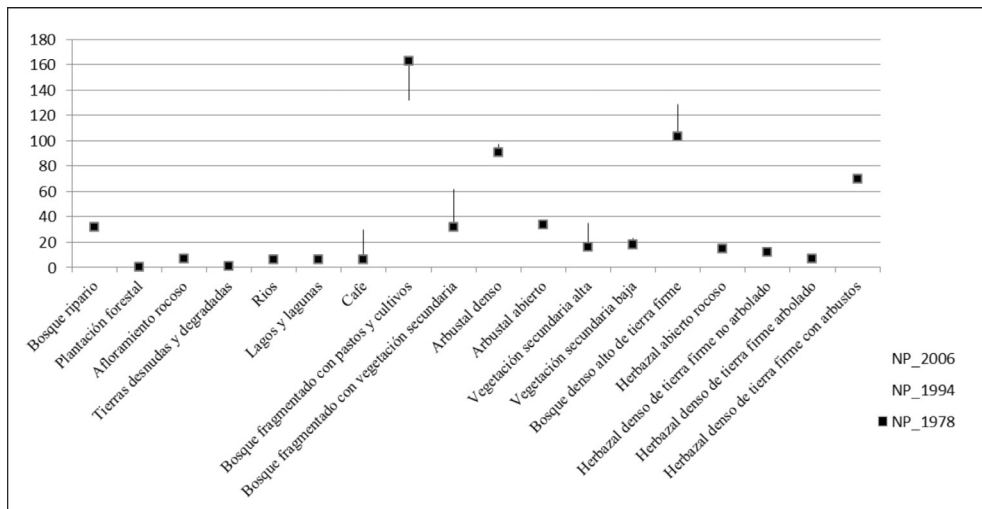
La tasa de deforestación del bosque de roble durante los 28 años de análisis es de 455,8 ha o una tasa de transformación anual de 0,23 %, basados en las fórmulas de Fonturbel (2007). Lo anterior contrasta con la tasa de deforestación para Colombia de 0,6 % o 322.757 ha por año (Cabrera et al., 2011). Sin embargo es baja comparada con el estudio regional de Rodríguez et al. (2005) para bosques andinos (0,15 %), donde se identifica un proceso de transformación mayor en escalas locales y con tendencias progresivas de intervención. La

Figura 7. Mapa de geosistemas con mayor dinámica del paisaje



Fuente: Gómez, W.F. (2012); Software Arc Gis 9.x

**Figura 8.** Dinámica en el número de parches para las coberturas naturales y seminaturales de la microcuenca



Fuente: Gómez, W.F. (2012).

mayor pérdida de bosques de roble se manifiesta sobre los geosistemas frío y muy fríos en crestos y escarpes en la región de la quebrada Minas al norte de

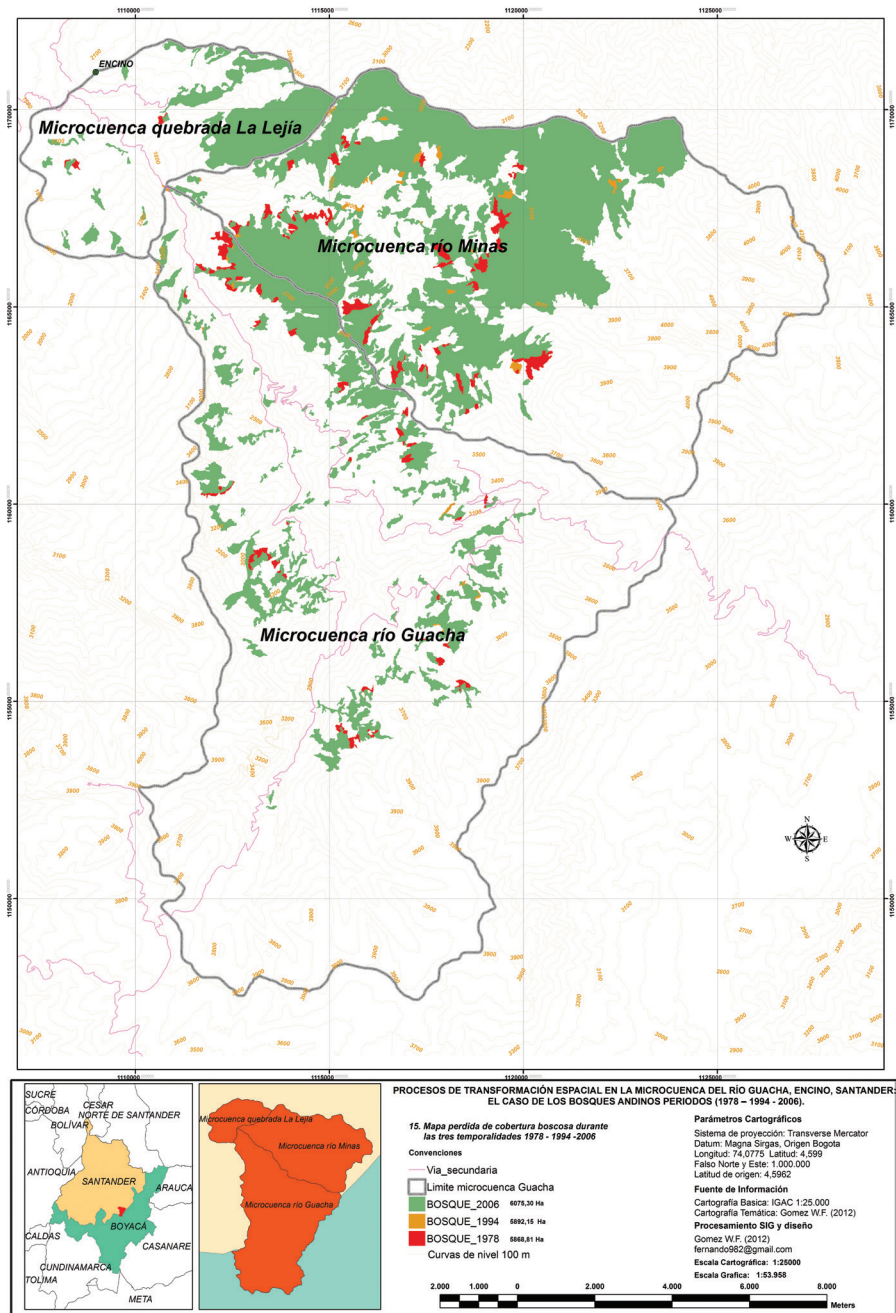
la microcuenca, producto de la ampliación de la frontera agrícola y requerimientos de madera para uso doméstico.

**Tabla 6.** Unidades macroestructurales del geosistema de la microcuenca del río Guacha

Índice	1978	1994	2006
Numero de parches	129	126	103
Índice de parches con mayor área de (LPI)	12,16	11,69	11,58
Índice de forma en el paisaje (LSI)	20,6254	22,4216	22,852
Índice de dimensión fractal (Pa FRAC)	1,39	1,41	1,41
Índice de conectividad (Connect)	1,37	1,30	1,26
Índice de Simpson SIDI	0,870	0,873	0,873

Fuente: Gómez, W.F. (2012).

**Figura 9.** Mapa sobre dinámica de cambios con relación a la cobertura de bosque andino 1978, 1994 y 2006.



**Fuente:** Gómez, W.F. (2012); Software Arc Gis 9.x

En relación con el paisaje biótico u heterogéneo con presencia de bosques fragmentados, se registró una pérdida de 352,5 ha, equivalente a una tasa de 36,6 %; en consecuencia una fuerte pérdida de fragmentos de bosque natural en zonas de mosaicos. Esta condición genera especialización en el uso del suelo para adecuación de los sistemas pecuarios extensivos en detrimento de los demás subsistemas (físico y natural).

La mayor transformación de los geosistemas sobre el río Guacha se manifestó antes de 1978 por ende la fragmentación del paisaje natural presenta altos índices y baja complejidad en los fragmentos (Figura 9), también se observa una progresiva intervención sobre los geosistemas con paisajes de gran extensión, y la especialización de aquellos dominados por actividades socioeconómicas.

### 3. Conclusiones

La microcuenca se caracteriza por 28 geosistemas y una distribución del paisaje natural en nueve tipos de ecosistemas, condición que determina la heterogeneidad y relevancia ambiental de la microcuenca. No obstante, el alto grado de transformación concentra los bosques andinos en remanentes de forma nucleada hacia la región norte de la microcuenca. Así mismo, los geosistemas con mayor intervención se asocian a condiciones biofísicas favorables para el subsistema socioeconómico, sin embargo la capacidad de soporte de los geosistemas presentes es baja para un desarrollo de producción tradicional.

Gran parte de los geosistemas presenta una larga e histórica intervención agropecuaria donde los factores adversos no han impedido la transformación del paisaje, principalmente en los geosistemas de valles, lomas y crestones homoclinales. En este sentido, la estructura de los geosistemas requiere un equilibrio entre sus componentes (físico, biótico y socioeconómico), para minimizar la vulnerabilidad de los sistemas frente a la variabilidad climática.

La dinámica y transformación de los ecosistemas boscosos de roble (*Quercus humboldtii*) es baja (0,23 %) en comparación con las tasas de deforestación para el país. No obstante, al ser valorada con datos de escala regional, los valores son superiores, por consiguiente se observó que las intervenciones en la microcuenca son altas con relación al corredor de robles Guantiva-La Rusia-Iguaque.

Los geosistemas de la microcuenca mantienen una dinámica lenta de transformación durante las últimas cuatro décadas, manifestada por procesos endógenos de intervención y uso, como el aprovechamiento doméstico y la ampliación de la frontera pecuaria, en consecuencia se observó una continua fragmentación y reducción en área del bosque andino aun con la veda o restricción a su uso o aprovechamiento. Por esta razón el presente estudio es un instrumento y modelo necesario y determinante para implementar políticas locales de conservación y sistemas socioeconómicos acordes con espacio geográfico a fin de proteger la base natural del geosistema, pero también mantener los servicios de

regulación y soporte al sistema socio económico.

La identificación de la estructura y dinámica interna del territorio a partir de sus condiciones geoecológicas y paisajísticas se convierte en una interconexión funcional e integral entre los factores macroestructurales que determinan el geosistema y el paisaje definido por los factores mesoestructurales dinámicos, detallados y cambiantes (Romero, 2002) tanto por los modos de producción social y la dinámica ecológica de los ecosistemas. En este sentido el análisis del paisaje permitió registrar la estructura y

evolución de los geosistemas en relación con los procesos de intervención, para así desarrollar políticas y directrices encaminadas a la ordenación del territorio con base en todos sus componentes estructurantes del paisaje.

Evaluada la condición estructural del espacio geográfico, la dinámica territorial y los procesos que transforman el paisaje se permitirá obtener información una base para la construcción de un paisaje resiliente y adaptativo al cambio climático y con la capacidad de soporte para mantener la población y asegurar la conservación de la biodiversidad.

## Literatura citada

- Andrade, G., Avella, A., Gómez, W. F. & Franco, L. (2012). *Construcción de un paisaje resiliente en la cuenca del río Guacha (Encino, Santander); conceptos, diagnóstico y lineamientos para la implementación*. Bogotá: En Prensa.
- Armenteras, D. & Morales, M. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113(2), 245–256.
- Avella, A. (2010). *Diseño de lineamientos para la conservación y uso sostenible de los bosques de roble del sector central del corredor de conservación Guantiva-La Rusia-Iguaque*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Bertrand, G. (1974). *Essais sur la systématique du paysage: Les montagnes cantabriques centrales*. France: Toulouse.
- Bolos, M. (1983). Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. *Revista de Geografía*, 15(1), 45–68. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/issue/view/3872/showToc>
- Burel, F. & Baudry, J. (2003). *Landscape ecology: concepts, methods, and applications*. Paris, Francia: Science Publishers.
- Cabrera, E., Vargas, D. M., Galindo, G., García, M. C. & Ordóñez, M. F. (2011). *Memoria técnica: cuantificación de la tasa de deforestación para Colombia, periodo 1990-2000, 2000-2005*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.
- Colombia. *Congreso de la República*. (1936). Ley 200 de 1936.
- Díaz, M. R. (2010). *Uso de especies forestales asociadas a bosques de roble (Quercus humboldtii), con fines energéticos, en tres veredas del municipio de Encino- Santander*. *Colombia Forestal*, 13(2), 237–243. doi:0120-0739
- Fonturbel, F. (2007). *Evaluación de la pérdida de la cobertura del bosque seco chaqueño en el municipio de Torotoro y en el parque nacional Torotoro (Potosí, Bolivia), mediante teledetección*. *Ecología aplicada*, 1-2.
- Frolova, M. (2006). *Desde el concepto del paisaje a la teoría de geosistema en la geografía rusa: hacia una aproximación global del medio ambiente?* *ERIA*, 70, 225–235.
- Gómez, J. (2000). El paisaje integrado de las montañas andaluzas. Análisis de la metodología experimentada. *Cuadernos Geográficos*, 30, 445–467.
- Henderson, A., Churchill, S. P. & Luteyn., J. L. (1991). *Neotropical plan diversity*. *Nature*, (351), 21–22.

- Hooghiemstra, H. & Sarmiento, G. (1991). Long continental pollen record from a tropical-intermontane basin: Late Pliocene and Pleistocene history from a 540-meter core. *Episodes*, 14(2), 107–115.
- López, R. B. (2006). Expresiones culturales alrededor del roble en el corredor Guantiva-La Rusia-Iguaque. In C. Solano & T. Vargas (Eds.), *I Simposio Internacional de Roble y Ecosistemas* (pp. 225–234). Bogotá: Fundación Natura Colombia.
- Martínez de Pisón, E. (1998). El concepto de paisaje como instrumento de conocimiento ambiental. En E. Martínez de Pisón (Ed.), *Paisaje y medio ambiente* (pp. 30–46). Valladolid, España: Fundación Duques de Soria y Universidad de Valladolid.
- McGarigal, K. & Marks, B. (1994). *Fragstats-spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Oregon, State: Forest Science Department, Oregon State University.
- Olivencia, Y. (2000). Esquema metodológico para un análisis del paisaje orientado a la planificación de un espacio natural. *Cuadernos geográficos de la universidad de Granada* N 20 - 21, 1991 - 1992, pags 29-36, Granada: ISSN 0210-5462.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2011). *Situación de los bosques del mundo*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s00.htm>
- Parra, S. G. (2008). *El conflicto armado en Colombia y la ley de alternatividad penal o de justicia y paz*. Villavicencio: Corporación Universitaria del Meta.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M. & Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes colombianos*. En I. de Investigación de Recursos Biológicos A. von Humboldt, (Ed.) (2ª ed.) (p. 154). Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, N., Mendoza, H., Umaña, A. M., Arango, N. & Baptiste, M. P. (2005). *Corredor nororiental de robles: indicadores de estado de la biodiversidad, factores antropológicos asociados y áreas prioritarias de conservación*. En *Serie: indicadores de seguimiento y evaluación de la política de biodiversidad* (p. 88). Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Romero, A. G. (2002). El paisaje: una herramienta en el estudio detallado del territorio. *Kuxulkab*, VII(14), 22–33.
- Rudas G., Marcelo D., Armenteras D., Rodríguez N., Morales M., Delgado L.C. y Sarmiento A. (2007). *Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia: ISBN: 978-958-8151-98-4
- Tricart, J. & Kilian, J. (1979). *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel* (Librairie). París, Francia: ISBN 2707110124, 9782707110121.



Recepción: 20 de diciembre de 2011  
Evaluación: 7 de mayo de 2012  
Aprobación: 12 de junio de 2012

