

“Spatial analysis to determine priority conservation areas of dry ecosystems in two interandean valleys of Valle del Cauca- Colombia”

“Análisis espacial para determinar áreas prioritarias para la conservación de ecosistemas secos en dos valles interandinos del Valle del Cauca – Colombia”

Galindo, Gustavo*1, Cabrera, Edersson2, Londoño, Camilo3

1. Instituto

de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Laboratorio de Biogeografía y Análisis espacial, Cr. 7 No. 35-20, Bogotá,

Colombia, email: ggalindo@humboldt.org.co, 2.email: gicecabrera@humboldt.org.co, 3. email: cjlondono@humboldt.org.co

December 2005

Download at: <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.456.1>

“Spatial analysis to determine priority conservation areas of dry ecosystems in two interandean valleys of Valle del Cauca-Colombia”

Resumen

Las formaciones vegetales secas hacen parte de los ecosistemas más amenazados a nivel mundial. En Colombia, los bosques secos representan el 1.5% de su cobertura original ya que han sido transformados principalmente a agroecosistemas. Esto, sumado a sus altos niveles de endemismo, las adaptaciones únicas a condiciones extremas de los organismos que viven en ellos y su importancia como bancos genéticos **in situ** hacen necesario caracterizarlos y tomar medidas de conservación que garanticen la sostenibilidad de los procesos ecológicos existentes. El uso de sensores remotos ha sido una alternativa para su monitoreo, pero debido a la dificultad para mapearlos efectivamente por sus altos niveles de fragmentación, al pequeño tamaño de los parches y a la respuesta espectral en la que se confunden los matorrales, los pastizales y el suelo desnudo se desarrolló una metodología para identificar estos ecosistemas usando imágenes IKONOS y usando el software orientado a objetos **e-cognition** en los enclaves secos interandinos de Dagua y Tulúa en el Valle del Cauca- zona suroccidental de Colombia-. Estos enclaves aún mantienen alrededor del 14% de su área en ecosistemas naturales, sobretodo en zonas de alta pendiente, el resto ha sido convertido a agroecosistemas. La alta fragmentación, el tamaño pequeño de los remanentes naturales sumado a los resultados de composición florística hechos en 11 parcelas de muestreo en los parches de bosque más representativos de los ecosistemas naturales sugieren que proteger pequeñas áreas núcleo no sería suficiente para conservar la biodiversidad de los enclaves. Se recomienda además desarrollar estrategias de manejo de paisaje para mejorar la conectividad entre los ecosistemas naturales existentes. Palabras Clave: Ecosistemas secos, Valles interandinos, Colombia, sensores remotos, áreas protegidas”

Abstract

Dry vegetation formations are part of the most threatened ecosystems worldwide. In Colombia dry forests exist in 1.5% of their original extension because they have been transformed mostly to agroecosystems. This, joined with their high endemism, the unique adaptation of organisms to extreme conditions and their importance as genetic banks reveal the necessity to characterize them and establish conservation actions that guarantee the sustainability of the existent ecological processes. Based on the difficulty to map them effectively with remote sensors because of their high fragmentation, small patch size and the similar spectral response of dry bushes, sparse grasses and bare soils; a methodology to identify these ecosystems was developed using IKONOS multispectral images and the object oriented software in the interandean canyons of Dagua and Tuluá in Valle del Cauca-Southwestern region of Colombia-. Results show that these canyons still maintain about 14% of their area in natural ecosystems even though they are found mostly in the higher slope areas and the rest has been transformed to agro ecosystems. High fragmentation of natural ecosystems, the small size of the existent patches and the results of the floristic composition made in 11 plots of the more representative patches of the existent forest ecosystems suggest that small protected areas would not be enough to conserve the biodiversity of the canyons. Landscape management practices that help enhance connectivity between the existent natural ecosystems is suggested.

Key Words: Dry ecosystems, Inter Andean Valleys, Colombia, Remote sensing, Protected area

Introducción

Las formaciones secas, xéricas y subxéricas se caracterizan por una alta distribución estacional de la precipitación con periodos secos críticos de hasta seis meses, temperaturas medias anuales superiores a 17° C y evapotranspiración potencial mayor a la precipitación media anual (Murphy & Lugo 1986). Usualmente, en los andes se presentan en condiciones microclimáticas especiales tales como sombras secas.

Las características de escasa precipitación durante periodos largos, intensa radiación solar, baja humedad relativa, altas temperaturas y fuertes vientos exigen de las especies que los habitan

unas adaptaciones morfológicas y fisiológicas únicas. La vegetación típica de las formaciones xéricas y subxéricas comprende árboles pequeños y arbustos achaparrados de hojas persistentes, coriáceas y rígidas con gruesa cutícula o que las pierden en verano, plantas espinosas y suculentas, rosuletos de hojas rígidas y pequeños sufrútices y gramíneas que se secan en el verano (Cuatrecasas 1958). La gran mayoría de estos bosques se presentan como un matorral arbustivo a arborescente integrado de manera dominante por cactáceas y fabáceas (Ricardi 1996).

Las principales formaciones vegetales secas de América tropical están concentradas en la costa norte del continente, en los valles secos interandinos de los Andes del Norte (desde el norte de Perú hasta Mérida en Venezuela), a lo largo de la costa de Ecuador y Perú, en los valles secos de los Andes centrales y en la vertiente occidental de los Andes del Perú (Sarmiento, 1975). En Colombia estas formaciones xerofíticas y subxerofíticas se encuentran localizadas tanto en tierras bajas (cinturón seco del Caribe y valles secos interandinos por debajo de los 1.000 msnm), como en tierras altas (enclaves secos altoandinos de la cordillera Oriental, (Cavelier 1997) y en algunos sectores de los llanos orientales (Pennington 2000).

Los Valles secos interandinos de tierras bajas y subandinas están definidos como valles en "V" por debajo de los 2.000 m en los que las condiciones de relieve permiten efectos de sombra y otras condiciones microclimáticas tales como precipitaciones anuales inferiores a los 1.800 mm. Presentan afinidades con los ecosistemas costeros áridos, lo que indica que probablemente estuvieron conectados en el pasado con este tipo de vegetación y tuvieron condiciones climáticas similares. Los valles interandinos secos actuaban como corredores que conectaban las áreas costeras de todo el Norte de los Andes de Suramérica (Sarmiento 1975). Se encuentran localizados en Colombia principalmente en el cañón del río Chicamocha, valle del Táchira, Ocaña, Aguachica, inmediaciones de Cúcuta, Cañón del río Cauca (Santa fe de Antioquia), Dabeiba (Valle alto de río Sucio), Cañón del río Dagua, Cañón alto del Cauca, Cañón del río Amaime, cañón del río Patía y Juanambú, Ipiales y algunos sectores del Valle del río Magdalena.

En ellos se presentan matorrales espinosos de carácter arbustivo, que varían de abiertos a semi-cerrados, estas especies arbustivas están acompañadas por cactáceas con diferentes formas de crecimiento. Los matorrales espinosos entran en contacto con los bosques secos y en esa transición aparecen especies que pierden sus hojas durante la estación de sequía (Cavelier 1997). Algunas veces se pueden encontrar ecosistemas secos por encima de los 2000 msnm como los localizados en el altiplano cundí boyacense y en algunos cañones del Valle del Cauca, con temperaturas medias anuales alrededor de los 13°C. Las precipitaciones medias anuales están entre los 500-1.000 mm como en el caso de Villa de Leyva (Hernández Camacho et al. 1995).

En estas zonas el bosque andino es reemplazado por vegetación arbustiva con predominio de cactáceas (*Opuntia*), fique (*Furcraea*) y Agaves. En los enclaves secos interandinos que presentan un amplio rango altitudinal (ejemplo, cañón del río Chicamocha), las cactáceas son reemplazadas fisiónomica y funcionalmente por *Furcraea* y *Agave* (*Agavaceae*) (Van der Hammen 1997; Fernández-Alonso 1997).

Los ecosistemas secos son quizás los ecosistemas menos prioritarios en el esquema de conservación actual, ya desde 1983 Jansen evidenciaba que solo el 0.09% del bosque seco neotropical tenía algún status de conservación, y menos del 2% se encontraba lo suficientemente conservado como para despertar el interés de los conservacionistas; en la actualidad los procesos de transformación y fragmentación no se han detenido y se continúa poniendo en peligro un número de ecosistemas y especies importantes para la conservación. Colombia no es ajena a esa tendencia y en el Sistema de Parques Nacionales Naturales solo el 0.4% de las alrededor de diez millones de hectáreas protegidas incluyen áreas que contienen ecosistemas secos (Álvarez et al. 1997). La mayoría de estas áreas de conservación se encuentran en la región Caribe y sólo en Área única Natural de los Estoraques en el oriente colombiano hay 640 ha protegidas de bosque seco y de vegetación xerofítica y subxerofítica en la región Andina. No hay áreas protegidas en los valles interandinos colombianos.

La clasificación de la vegetación de tierras áridas usualmente presenta problemas debido a la alta reflectancia del suelo, a la dispersión debida a los doseles abiertos y suelos desnudos, a la mezcla variable de la vegetación verde y la senescente en diferentes estados sucesionales, y a la prevalencia de pastizales y arbustales. (Huete & Tucker 1991; Pfaff et al, 2000; Arroyo-Mora et al. 2003; Okin & Roberts 2004)

Debido a esto, y teniendo en cuenta otras experiencias de mapeación de vegetación seca (Espinal & Montenegro 1977; Hernández C. 1992; Etter 1998; Rodríguez et al. 2004) en los que se la extensión de la cobertura xerofítica ha presentado inconvenientes; se plantea una metodología para

cuantificar los ecosistemas de los valles secos interandinos que ayuden a establecer objetos de conservación en ellos.

Métodos

Área de Estudio

El estudio se realizó en dos enclaves secos interandinos en el Departamento del Valle del Cauca en Colombia: El enclave seco del cañón del río Dagua está ubicado en la jurisdicción de los municipios de Dagua, La Cumbre y Restrepo en las siguientes coordenadas: $76^{\circ} 43' 53''\text{W} - 3^{\circ} 49' 15. ''\text{N}$ extremo noroccidental y $76^{\circ} 33' 2. ''\text{W} - 3^{\circ} 36' 35.68''\text{N}$ extremo suroriental a alturas entre los 500 a los 1300 msnm. El enclave seco del cañón del río Tuluá está ubicado en la jurisdicción de los municipios de Tuluá y Buga en el departamento del Valle del Cauca a alturas entre los 1300 y los 2000 msnm, en las siguientes coordenadas: $76^{\circ} 5' 2''\text{W} - 3^{\circ} 56' 35. ''\text{N}$ extremo noroccidental y $76^{\circ} 1' 4''\text{W} - 3^{\circ} 51' 10''\text{N}$ extremo suroriental. (Figura 1). Ambos se encuentran en los Andes en montañas fluviogravitacionales sobre filas y vigas moderadas a fuertemente escarpadas con temperaturas que varían entre los 18° en las partes altas a 24° en las partes más bajas de los cañones. El cañón de Dagua se encuentra en la vertiente oriental de la cordillera occidental con una orientación Norte-sur y el Cañón del río Tuluá se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera central con una orientación Este- Oeste. La posición transversal de estos cañones en relación a las corrientes de viento húmedo que descargan la humedad a barlovento, hacen que a sotavento, sobre todo las laderas bajas y fondo de los cañones, se reciba poca humedad por encontrarse en posición de sombra.(Flórez 2003). La precipitación varía de 800- 1200 mm al año, presentándose dos periodos secos de enero a febrero y de julio a agosto.

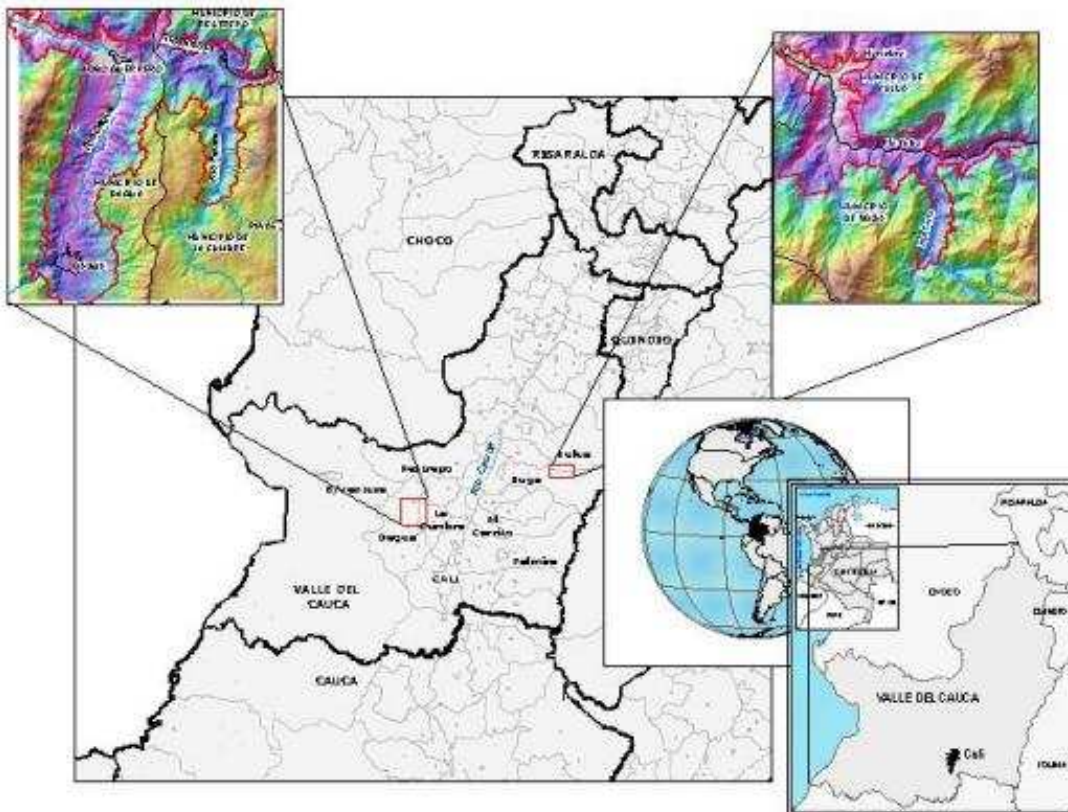


Figura 1: Area de Estudio

Metodología

Se desarrolló una metodología para el mapeo de ecosistemas secos a través de la utilización de imágenes multi-espectrales IKONOS en dos enclaves secos del departamento del Valle del cauca. Para el cumplimiento del objetivo se plantea un desarrollo metodológico que está dividido en cinco fases.

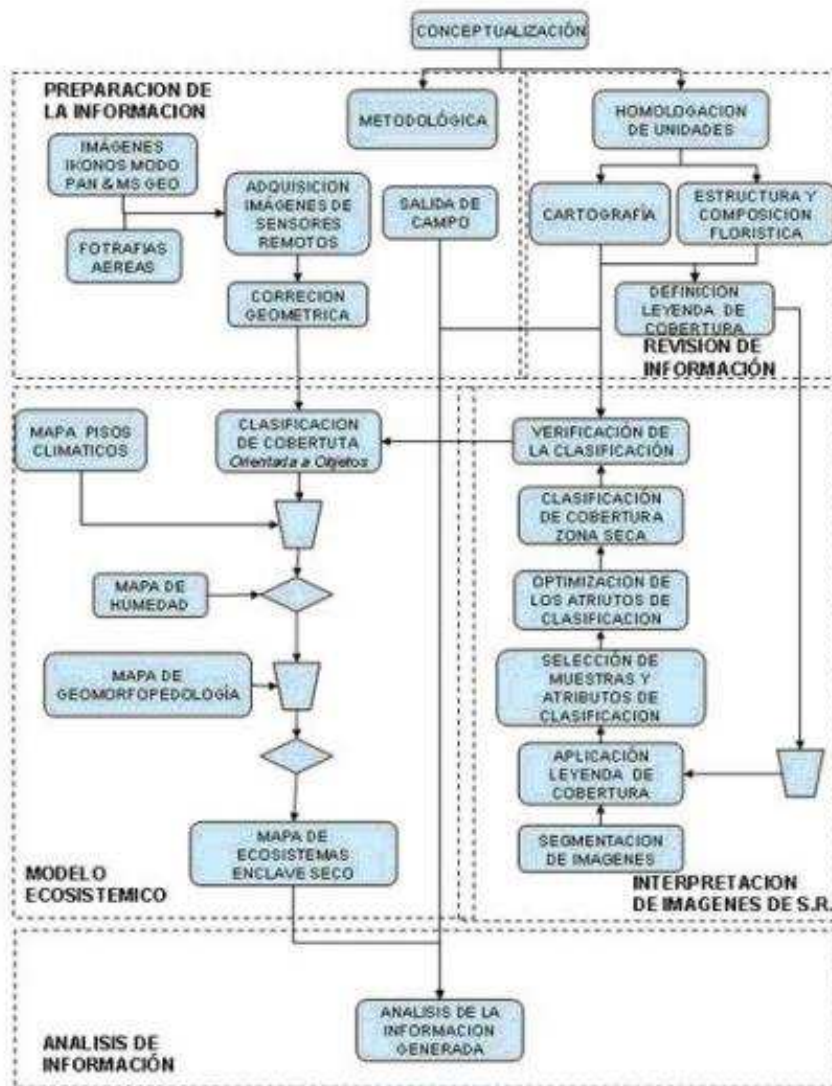


Figura 2: Desarrollo metodológico

Revisión de la información secundaria Preparación de la información cartográfica

Para las áreas de Dagua y Tulúa se utilizaron imágenes multi-espectrales IKONOS modo PAN & MS GEO del 2000-02-03 y del 2002-07-13 respectivamente. Las imágenes de satélite de alta resolución son las más adecuadas para mapear zonas secas por el fragmentación y el tamaño pequeño de los parches existentes.

Además se revisaron las fuentes de información secundarias relevantes sobre el mapeo de ecosistemas secos (Hernández-Camacho 1992; IDEAM 1996; Etter 1998; IGAC 1998; Rodríguez et al. 2004). Encontrando diferencias de criterios en la delimitación de las mismas, aducida a factores de escala que no permiten evidenciar de forma certera el estado actual de estos tipos de cobertura. Delimitación de las áreas de estudio

Los valles interandinos transversales presentan una serie de condiciones de clima y relieve que propician la formación de enclaves secos, además el tipo de vegetación presente en estos lugares presenta una serie de características espectrales que pueden ser diferenciadas utilizando imágenes de satélite de alta resolución, por ello la delimitación de los tres enclaves secos se realizó teniendo en cuenta: el relieve usando el modelo digital de elevaciones SRTM resolución 30 m; el clima usando la información de las estaciones localizadas alrededor y en los enclaves y a la respuesta espectral de la vegetación usando las imágenes IKONOS.

Interpretación de las imágenes de satélite

La interpretación de cobertura sobre imágenes de sensores remotos se realizó a través de la implementación de un enfoque de clasificación orientado a objetos (o segmentos) usando lógica

difusa. Para este efecto se utilizó el software de análisis de imágenes [b+] eCognition v 4.0. Este software resultó ser versátil para la delimitación de las unidades de cobertura necesarias para la construcción del mapa de ecosistemas de los enclaves secos, pues permite integrar el valor espectral de los píxeles con las características de jerarquía y las relaciones de vecindad propias de los objetos tales como los relictos de bosque y los parches de matorral xérico y subxérico. Los elementos de los objetos que se usaron al permitir una mayor separación entre las diferentes coberturas vegetales secas fueron la media de los valores espectrales en las cuatro bandas, la desviación Standard de las bandas tres y cuatro, la diferencia media a los vecinos más cercanos para las bandas dos y tres, el brillo, la tasa de la banda uno sobre todas las bandas y para separar los arbustales xerofíticos de otros rastrojos se usó la textura usando la media de las bandas en una matriz de co-ocurrencia en escala de grises (GLCM) en todas las direcciones.

Con esta metodología se evidenció la separación entre los diferentes tipos de cobertura. Se clasificaron 16 tipos de cobertura naturales y no naturales con este procedimiento. Los mapas de cobertura obtenidos luego de la verificación de campo a escala 1:10000 son el insumo primario para la generación del mapa de ecosistemas.

Aplicación modelo ecosistémico

La base conceptual y metodológica a partir de la cual se obtuvo el mapa de ecosistemas de las tres zonas de interés, siguió los lineamientos metodológicos establecidos por el Instituto Humboldt, para la definición y delimitación de ecosistemas (Etter 1998; Rudas et al. 2002; Armenteras et al. 2003; Rodríguez et al. 2004; Romero et al. 2004). Se parte de una conceptualización en donde la definición de ecosistemas se basa en la asociación espacial de sus estructuras verticales, es decir, como los componentes de un territorio están integrados en un lugar, identificando y determinando sus fronteras (Bailey 1996). El mapeo se basa en el principio general de que su delimitación es una unidad funcional basada en los componentes del territorio y en la escala de trabajo utilizada, dejando una estructura abierta que permite incorporar información de biotas para caracterizar, a nivel de grupos biológicos, las unidades delimitadas de esta forma.

Así, la delimitación de las fronteras ecosistémicas se realiza con los factores que controlan la distribución de los mismos a varias escalas (Bailey 1996). Estos componentes son los pisos climáticos, la humedad, la cobertura del suelo y la geomorfopedología presentes en las zonas de interés, la integración de esta información se realiza mediante técnicas computarizadas de superposición temática de mapas realizadas en el software ERDAS v. 8.7.

Análisis de la estructura y la composición florística

Para tener una imagen del estado de conservación de los enclaves y lograr conclusiones acerca de cuáles deben ser los objetos de conservación en la zona, se seleccionaron áreas de muestreo en bosque y matorral seco. La identificación de estos lugares se realizó teniendo en cuenta aquellos parches de ecosistemas naturales con mayor área y aquellos con diferentes respuestas espectrales en imágenes de satélite IKONOS. En el área de Tulúa se seleccionaron cuatro áreas de muestreo en los ecosistemas: Matorral subxérico secundario seco sobre filas y vigas en diabasas en piso andino (28s-MF), Bosque secundario seco sobre filas y vigas en diabasas en piso andino (26s-MF), Bosque secundario de cañada subhúmedo a seco sobre filas y vigas en diabasas en piso subandino (22-MF) y Matorral subxérico secundario seco sobre filas y vigas en piso subandino (24s-MF). Para el área de Dagua se seleccionaron siete áreas de los ecosistemas Bosque y Matorral de cañada secundarios secos y muy secos sobre filas y vigas en diabasas y esquistos de piso subandino (8-MF), Bosque medio denso muy seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos en piso subandino (1ms-MF), Bosque medio denso muy seco sobre conos de deyección en piso subandino (2ms-MC) y Bosque y Matorral de Cañada secundarios muy secos sobre conos de deyección en pisos subandino (4ms-MC) para un total de 11 estaciones en 8 ecosistemas naturales.

La aplicación de índices de agrupamiento para conocer las características afines de la composición y distribución de la especie en las estaciones de muestreo se realizó con base en levantamientos ecológicos rápidos que permitieron establecer la presencia/ausencia de individuos y de que manera cómo estas están actuando en la funcionalidad y la dinámica de los parches evaluados.

En cada estación georeferenciada se delimitó un transecto de 25m por dos metros y se evaluaron todos los individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 10 cm.

A cada individuo muestreado se le midió el DAP, se estimó su altura, su posición y se tomaron muestras botánicas de todos los individuos. Con colecciones de herbario de la Universidad del Valle (CUVC) y claves taxonómicas se realizaron las descripciones a nivel de género.

Con base en los datos obtenidos se calculó la abundancia, frecuencia, índice de valor de

importancia y patrón de distribución de las especies (porcentaje de disimilaridad de Bray-Curtis). Se clasificaron los estratos en herbáceos, arbustivos, subarbóreos y arbóreos según el dosel de los árboles y su altura usando la metodología propuesta por Rangel y Lozano (1976).

Resultados

Cañón del río Dagua

La interpretación de cobertura se realizó utilizando una imagen de satélite IKONOS multi-espectral que cubre el 81.52% del área total del enclave, representando 7664.45 ha, de estas 207.7 has de la imagen presentan nubes/sombras, lo que impide tener datos de ellas.

El 80.12% del enclave se encuentra transformado respecto a su cobertura original que estaba constituida por bosque seco tropical y matorral xérico, los cuales han sido transformados hacia pastos (44.17% del enclave), cultivos (4.04% del enclave principalmente caña y piña) y pastizales arbustales con el 20% del área del enclave. Los ecosistemas transformados ubicados en piso subandino ocupan el 70.47% (5401.3 ha) del área interpretada y los ecosistemas transformados del piso Andino ocupan 6.2% (475.1 ha). En la Tabla 1 se presentan los resultados de los ecosistemas transformados del enclave de Dagua.

En el enclave del río Dagua el 86.6% (1093.55 ha) de los ecosistemas naturales intervenidos se encuentran piso subandino y el resto (220.75 ha) en piso Andino. El 0.47% del área con información se encuentra en ecosistemas naturales en bosque medio denso (1ms-MF, 2ms-MC, 3s-ML) mientras que el 4% se encuentra en ecosistemas secundarios de bosque seco subandino (4-MC, 5-ML, 6ms-ML, 7ms-ML y 8-MF) y solo el 0.3% en 3 ecosistemas secundarios de bosque seco andino (14-ML, 15s-ML y 16-MF). El 24.8 % de los ecosistemas naturales presentes se encuentran en bosques y matorrales de cañada en pisos andinos y subandinos (8- MF y 16-MF) siendo estos los tipos de ecosistemas boscosos más frecuentes; de los demás sólo se encuentran remanentes aislados y muy separados entre sí. En el Anexo 1 están los resultados de los ecosistemas naturales y el mapa de ecosistemas del cañón de Dagua.

	ECOSISTEMA	CÓDIGO	ÁREA (ha)
SUBANDINO	Pastos manejados	A1	172,52
	Caña	A2	42,45
	Cultivos	A3	248,63
	Pastizal arbustal	A4	1358,07
	Pastos no manejados	A5	2952,69
	Rastrojos	A6	626,91
ANDINO	Pastizal arbustal	B1	167,92
	Pastos no manejados	B2	261,37
	Rastrojos	B3	45,79
OTROS	Plantación forestal	Pf	2,74
	Quemas	Q	48,40
	Zonas Urbanas	Zu	95,84
	Cuerpos de agua	Ca	49,39
	Playas y arenas	Pa	4,55
	Sin vegetación	Sv	117,98
	Sin información	Si	1945,36

Tabla 1. Ecosistemas transformados del enclave de Dagua

Cañón del río Tulúa

El cañón de Tulúa tiene 7478 ha y no se tiene información del 31.8% del enclave. El 72.51% del área analizada se encuentra transformada respecto a su cobertura original que era constituida por bosque seco tropical y matorral subxérico. Los bosques y matorrales subxéricos han sido

transformados principalmente a pastizales-arbustales (24.6% del enclave), Rastrojos (10.6%) y pastos no manejados (9 %). A diferencia del cañón de Dagua, en Tulúa hay muy pocos cultivos (0.47%).

Sólo el 0.13% del área analizada se encuentra en coberturas naturales y el 14,57% se encuentra en coberturas seminaturales. El 58.3% de los ecosistemas seminaturales existentes están constituidos por matorrales subxéricos secundarios y el resto por pequeños fragmentos de bosques secundarios alrededor de cañadas y en zonas de altas pendientes. Se encuentran 4 ecosistemas naturales en el orobioma azonal subandino (20s- MF, 22-MF, 24s-MF, 25s-MF) y tres en el orobioma azonal andino (26s-MF, 27-MF, 28s-MF). La mayoría de los ecosistemas transformados se encuentra en pastizales-arbustales en piso subandino.

Las tabla 2 y el Anexo 2 presentan los resultados del mapeo de ecosistemas en el cañón de Tulúa.

	ECOSISTEMA	CÓDIGO	ÁREA (ha)
SUBANDINO	Pastos manejados	A1	223,63
	Cultivos Generales	A3	18,46
	Pastizal arbustal	A4	1350,13
	Pastos no manejados	A5	506,44
	Rastrojos	A6	569,45
	ANDINO	Pastizal arbustal	B1
	Pastos no manejados	B2	172,07
	Rastrojos	B3	226,62
	Pastos manejados	B4	285,48
	Cultivos Generales	B5	17,37
OTROS	Plantación forestal	Pf	14,24
EN	Quemas	Q	13,97
PISOS	Zonas Urbanas	Zu	4,72
ANDINO Y	Cuerpos de agua	Ca	37,46
SUBANDINO	Playas y arenas	Pa	10,00
	Sin vegetación	Sv	64,21
	Sin información	Si	2377,50

Tabla 2. Ecosistemas Transformados del Cañón del río Tulúa.

Aspectos Estructurales

En las localidades de Dagua se registraron 205 individuos, agrupados en 51 géneros y 50 familias botánicas. El porcentaje de disimilaridad (UPGMA, group average) entre las estaciones de muestreo varía de 0.26 entre dos parcelas ubicadas en *Bosque y Matorral de cañada secundario seco y muy seco sobre filar y vigas en diabasas y esquistos de piso subandino* (8-MF) a 0.79 entre el grupo conformado por estas dos parcelas y un *Bosque medio denso muy seco sobre conos de deyección en piso subandino* (2ms-MC) y el grupo conformado por un ecosistema 8-MF en un área poco accesible del río Pavas, un *Bosque y Matorral de Cañada secundarios muy secos sobre conos de deyección en pisos subandino* (4ms- MC) y un *Bosque medio denso muy seco sobre filar y vigas en diabasas y esquistos en piso subandino* (1ms-MF). Hay disimilaridad entre estos dos grupos de unidades de muestreo. En dos de estas parcelas se encontraron especies con algún grado de amenaza (UICN 2001) que son *Maclura tinctoria* (Lr) y *Zanthoxylum genry* (Lr/Vu) y *Cinchona officinalis* con datos insuficientes.

En las cuatro localidades de Tulúa se registraron 122 individuos, agrupados en 31 géneros y 25 familias botánicas. El porcentaje de disimilaridad (UPGMA, group average, Bray-Curtis) entre las estaciones de muestreo varía de 0.98 a 0.88. Hay una diferencia significativa en cuanto a la composición de géneros entre las diferentes estaciones de este enclave. La baja frecuencia de las especies sumando todas las estaciones indica que son bosques y matorrales muy heterogéneos. Hay una disimilaridad de 0.79 entre las parcelas de Tulúa y las de Dagua (UPGMA, group average), En el análisis de cluster donde se agrupan las estaciones de muestreo hacia el interior de

cada enclave y no entre los enclaves, reflejando diferencias de hábitat y de procesos ecológicos. La mayor abundancia de individuos en Dagua que en Tuluá. El mayor peso ecológico de las especies evaluadas con un DAP mayor a 10 cm en la zona de Tuluá se encuentra distribuido en los géneros *Tabebuia sp* con el 25,27, *Sapindus sp* con 24,82, *Opuntia sp* con 23,50, *Clusia sp*, con 20,37, *Cinchona sp* con 18,27, *Erythrina sp* con 17,59, *Piper sp* con 16,36 y *Lantana sp* con 13,47 que suman el 53, 22% del total del Índice de Valor de Importancia (IVI).

En el caso de Dagua el resultado del IVI muestra que los géneros con mayor valor son *Myrtus sp* con 59.92, *Piper sp* con 59.08 y *Xanthoxylum sp* con 34.93. Estos 3 géneros suman el 51.3% del total del IVI. Las especies del género *Myrtus sp* son de crecimiento rápido, colonizadoras de áreas degradadas e intervenidas y actúan como especies sombrilla creando un microclima propio para el desarrollo y establecimiento de asociaciones vegetales propias de los enclaves secos. Su frecuencia puede indicar es estado sucesional temprano y la degradación de los ecosistemas del enclave.

Discusión

En el enclave seco de Dagua la mayoría de la cobertura vegetal natural existente está compuesta por bosques y matorrales secundarios que no tienen más de 10m de ancho y están asociados a cuerpos de agua, con sectores totalmente despejados y con una baja conectividad. Los parches más conservados se encuentran en zonas de alta pendiente y en media ladera. Los bosques de cañada asociados a los ríos principales del enclave tal como los del río Dagua y el río Bitaco han sido casi totalmente transformados aumentándose en estas áreas las coberturas seminaturales de rastrojos y las transformadas de cultivos y pastos.

Los matorrales subxéricos se ubican como parches aislados primordialmente en las laderas occidentales de los cañones del Dagua y de la quebrada Pavas y su extensión va disminuyendo de Norte a sur. Estos matorrales subxéricos en el río Pavas son también los que presentan un mayor porcentaje de disimilaridad con respecto a las otras áreas de muestreo.

En las partes más altas de la ladera occidental del río Dagua quedan unos bosques secundarios secos no asociados a cuerpos de agua, remanentes de los bosques que existieron anteriormente en el enclave. Estos parches serían los recomendados para establecer áreas de protección municipal, aunque se recomendaría simultáneamente establecer herramientas que ayuden aumenten la conectividad usando los bosques secundarios de cañada.

Para el enclave del río Tuluá no se conocen estudios anteriores sobre su composición florística o sobre su historia de uso y transformación. La proporción de vegetación natural existente es muy similar a la que se encuentra en Dagua, y al igual que en este, se encuentra sobretodo en las áreas de pendiente muy escarpada. En la franja protectora del río Tuluá, los bosques y matorrales existentes se encuentran como parches aislados y fragmentados, siendo más frecuentes en las franjas protectoras de los afluentes Nogales y Cofre. La vegetación subxérica se encuentra principalmente en el costado Norte del río Tuluá, en zonas de media ladera y con una alta pendiente. El enclave de Tuluá presenta alturas desde los 1300 a los 2000 m. Presentando remanentes de bosques Andinos subhúmedos en las partes más elevadas del enclave.

La degradación que puede conducir a la desertificación ocurre principalmente en ecosistemas sensibles bioclimáticamente, en los que el déficit hídrico casi siempre está presente (Thomas & Middleton 1994), En estos dos enclaves secos hay una larga historia de ocupación humana, estudios de la CVC (CVC 1994, CVC 2002) revelan que aproximadamente desde 1920 viene dándose un uso intensivo del suelo orientado hacia el desmonte de las coberturas naturales y consecuente introducción de sistemas agropecuarios. Este tipo de intervención (tanto de flora, fauna, suelo, agua) puede en cierta medida superar el umbral de funcionamiento de los ecosistemas (Flórez, 2003), causando la irrecuperabilidad de las condiciones originales en el corto y mediano plazo y poniendo en riesgo la biodiversidad asociada a estos.

Conclusiones

Según el mapeo ecosistémico, hay un alto grado de transformación y fragmentación en los enclaves: los ecosistemas transformados predominan y los ecosistemas naturales se presentan de forma dispersa., generalmente asociados a cursos de agua con formas alargadas en donde la relación área-perímetro es muy baja, en zonas de alta pendiente o a manera de parches de tamaño pequeño en medio de áreas de pastura sin manejo reciente. La mayor concentración de ecosistemas naturales y seminaturales (con presencia de cactáceas y otras especies típicas de estos ambientes)

ocurre en zonas de pendiente y de difícil acceso, pues en los terrenos planos, aptos para la agricultura o ganadería, los ecosistemas han sido transformados.

Las actividades antrópicas expresadas como quemas y sobrepastoreo han degradado áreas que anteriormente estaban cubiertas por vegetación xérica y bosque seco en los cañones de Dagua y de Tulúa, lo que ha dificultando la delimitación de las áreas naturales en estas zonas.

La metodología utilizada, usando un software orientado a objetos y usando imágenes IKONOS ha permitido separar la vegetación xérica y subxérica de otros tipos de vegetación como pastizales, suelo desnudo y arbustales. Esta es la primera aproximación para mapear enclaves secos usando este tipo de tecnología.

Dentro de la planeación para la conservación esta propuesta permite seleccionar áreas funcionales para conservar a escala regional y local al determinar cuál la proporción y el estado de los ecosistemas remanentes existentes. Los parches de ecosistemas boscosos más grandes se encuentran en las partes altas de la ladera occidental del cañón del río Dagua y en algunos ecosistemas boscosos en la quebrada Nogales en el cañón de Tulúa sin embargo ninguno de estos parches tienen más de 30 ha y los análisis de la estructura y composición florística de los muestreos de los ecosistemas más representativos indica que ningún parche sería suficiente para proteger los ecosistemas y las especies existentes, por los que se recomienda además trabajar en el reestablecimiento de las conexiones entre los diferentes ecosistemas usando herramientas de manejo de paisaje.

Referencias

Álvarez, M.; F. Escobar; F. Gast; H. Mendoza; A. Repizzo; H. Villareal. 1997. Bosque Seco Tropical. En: M. E. Chaves, y N. Arango editores. *Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad Tomo I*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

Armenteras, D.; F. Gast; H. Villareal. 2003. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, Vol 113 (2): 245 - 256.

Arroyo-Mora, P.; A. Sánchez-Azofeifa; B. Rivard; J. C. Calvo. 2003. Integrating very high and high resolution imagery for detecting secondary growth in a Neotropical Dry Forest Ecosystem: A vegetation Indices Approach. Proceedings of the XI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brazil.

Bailey, R.G. 1996. *Ecosystem Geography*. Springer Verlag, USA.

Cavelier, J. 1997. Selvas y bosques montanos. Páginas 38-55 En: M. E. Chaves, y N. Arango editores. *Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad Tomo I*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). 1994. *Comparación de la cobertura de bosques y humedales entre 1957 y 1986 con delimitación de las comunidades naturales críticas del valle geográfico del río Cauca*. Informe. Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (CVC). 2002. Subdirección de Patrimonio Ambiental. Grupo de Vida Silvestre. *Bosques secos y muy secos del Departamento del Valle del Cauca, Colombia*. Santiago de Cali: CVC.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (CVC) & Fundación Trópico. 2003. *Propuesta para la consolidación del Enclave subxerofítico de la cuenca alta del río Dagua y su zona de influencia como área de manejo especial*. Valle del Cauca, Colombia.

Cuatrecasas, J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas*. 10: 221-264.

Espinal, L, & E. Montenegro. 1977. *Formaciones vegetales de Colombia*. INAC. Bogotá.

Etter, A. 1998. Mapa general de ecosistemas de Colombia. En: Chaves. M.E., y Arango, N. (Eds). *Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad – Colombia. Tomo I. Causas de pérdida de la biodiversidad*. Instituto Humboldt, PNUMA, Ministerio del Medio Ambiente. Bogota-Colombia.

Fernandez-Alonso, J.L. 1997. Nueva especie de *Condalia* cav. (Rhamnaceae) y notas sobre géneros de la familia en la flora de Colombia. *Caldasia* 19 (1-2) 101-108.

Flórez, A. 2003. *Colombia: evolución de sus relieves y modelados*. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos. 240 p.

Hernández-Camacho, J., & H. Sánchez - P. 1992. Biomas terrestres de Colombia. En: Halffter G.

(Comp.). *La Diversidad Biológica de Iberoamérica I. Acta Zoológica Mexicana. Volumen especial*. México D. F.

Hernández –Camacho, J., V. Ruefa & H. Sánchez. 1995. Las Fronteras del Desierto. En: Hernández-C. *Desiertos, Zonas Áridas y Semiáridas de Colombia*. Banco de Occidente. Bogotá.

Huete, A.R., C.J. Tucker.. 1991. Investigation of soil influences in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. *Int. J. Remote Sens.* 12:1223-1242.

Instituto Alexander von Humboldt, IAvH. 1997. Formaciones xerofíticas y subxerofíticas. Págs. 96-105. En: Chávez, M. & N Arango (eds.). *Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad de Colombia. Tomo I*. Ministerio del Medio Ambiente - Naciones Unidas, Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales, –IDEAM-. 1998. *El Medio ambiente en Colombia*. Bogota D.C.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, –IGAC-. 2004. *Estudio general de suelos del departamento del Valle del cauca, escala 1:100000*. IGAC.

Janzen, D.H., editor. 1983. *Costa Rican Natural History*. The University of Chicago Press, Chicago, IL.

Medina, E. 1985. Estudio Ecológico de Zonas Áridas y Semiáridas del Neotrópico. *Interciencia* 10(5): 223-224

Murphy, P. G., & A. E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 67–88.

Okin, G.S. & D.A: Roberts. 2004. Remote Sensing in Arid Regions: Challenges and Opportunities , en *Manual of Remote Sensing, 3rd ed. Vol. 4*, (ed. Ustin, S.L.) John Wiley and Sons, New York, pp 111-146.

Pfaff, A.S.P.; S. Kerr; F. Hughs; S. Liu; G.A. Sánchez-Azofeifa; G.A.; D. Schimel; Tosi, J.; Watson, V. 2000. The Kyoto protocol and payments for tropical forest: An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM. *Ecological. Economics.* 35, 203-221.

Pennington, R. T., D. A. Prado & C. Pendry. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Pleistocene vegetation changes. *Journal of Biogeography.* 27, 261–273.

Rangel, CH. O & G. C. Lozano. Un perfil de la vegetación entre la Plata (Huila) y el Volcán Purace. *Caldasia.* 14 (68 – 70): 503-547. 1976

Ricardi, M. 1996. Algunas consideraciones sobre la flora xerofítica de la region de Lagunillas, Merida, Venezuela. *Plantula* Vol 1(2): 167-170.

Rodriguez, N. D.; Armenteras; M. Morales; M. Romero. 2004. *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 155p.

Romero, M.; G. Galindo; J. Otero; D. Armenteras. 2004. *Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. Colombia. 189 p.

Rudas, G.; D. Armenteras; S. M. Sua; N. Rodriguez. 2002. *Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana – 2001. Informe Final de Resultados, Proyecto Diseño e Implementación del Sistema Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana*. Instituto Humboldt, CDA, Corpoamazonia, Cormacarena, Instituto Sinchi, Unidad de Parques, Ministerio del Medio Ambiente (Crédito BID 774 OC/CO), Bogotá. (114 páginas + 6 documentos anexos).

Sarmiento G. 1975. The dry plant formations of South America and their florista connections. *J. Biogeography* 2: 233-251.

Thomas, D. S. G., & N. J. Middleton (Eds.), 1994. *Desertification: Exploding the Myth*. . John Wiley, New York. 194 pp.

UICN Species Survival Commission. 2001. *IUCN Red List Categories. 3.1*.

Van der Hammen, T. 1997. El bosque de Condalia. *Caldasia* 19 (1-2): 355-359.

Anexo

Anexo 1: Ecosistemas Naturales del Cañón de Dagua

BIOMA	ECOSISTEMA	CÓDIGO	ÁREA (ha)
OROBIOOMA	Bosque medio denso muy seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	1ms-MF	19,65
AZONAL	Bosque medio denso muy seco sobre conos de deyección	2ms-MC	12,09
SUBANDINO	Bosque medio denso seco sobre lomas en diabasas	3s-ML	13,10
CORDILLERA	Bosque y matorral de cañada secundarios muy secos sobre conos de deyección	4-MC	53,55
OCCIDENTAL	Bosque y matorral de cañada secundarios secos sobre lomas en diabasas	5-ML	54,43
	Bosque secundario y matorral muy seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	6ms-MF	16,61
	Bosque secundario y matorral muy seco sobre conos de deyección	7ms-ML	10,89
	Bosque y matorral de cañada secundarios secos y muy secos sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	8-MF	243,92
	Matorral subxérico secundario muy seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	9ms-MF	353,09
	Matorral subxérico secundario muy seco sobre conos de deyección	10ms-MC	55,52
	Matorral subxérico secundario muy seco sobre lomas en diabasas	11ms-ML	30,17
	Matorral subxérico secundario seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	12s-MF	177,76
	Matorral subxérico secundario seco sobre lomas en diabasas	13s-ML	52,77
OROBIOOMA	Bosque y matorral de cañada secundarios secos sobre lomas en diabasas	14s-ML	4,82
AZONAL	Bosque secundario y matorral seco sobre lomas en diabasas	15s-ML	5,44
ANDINO	Bosque y matorral de cañada secundarios secos y muy seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	16-MF	26,98
CORDILLERA	Matorral subxérico secundario muy seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	17ms-MF	21,50
OCCIDENTAL	Matorral subxérico secundario seco sobre filas y vigas en diabasas y esquistos	18s-MF	95,44
	Matorral subxérico secundario seco sobre lomas en diabasas	19s-ML	13,80

Tabla 3. Ecosistemas Naturales del Cañón de Dagua

Anexo 2. Ecosistemas Naturales del Cañón de Tuluá

BIOMA	ECOSISTEMA	CÓDIGO	ÁREA (ha)
OROBIOAMA AZONAL	Bosque secundario seco sobre filas y vigas en diabasas	20s-MF	36,06
SUBANDINO	Bosque secundario de cañada subhúmedo a seco sobre filas y vigas en diabasas	22-MF	240,15
CORDILLERA	Matorral subxérico secundario seco sobre filas y vigas en diabasas	24s-MF	492,48
CENTRAL	Bosque medio denso seco sobre filas y vigas en diabasas	25s-MF	9,90
OROBIOAMA AZONAL	Bosque secundario seco sobre filas y vigas en diabasas	26s-MF	25,05
ANDINO	Bosque secundario de cañada subhúmedo a seco sobre filas y vigas en diabasas	27-MF	147,12
CORDILLERA CENTRAL	Matorral subxérico secundario seco sobre filas y vigas en diabasas	28s-MF	148,91

Tabla 4. Ecosistemas Naturales del Cañón de Tuluá.

