

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / ORIGINAL RESEARCH PAPER

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Spatial Distribution of Tropical Dry Forest in Valle Del Cauca, Colombia

Diana Patricia ALVARADO-SOLANO¹, Joel Tupac OTERO OSPINA².

¹ Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Carrera 32 n° 12-00 Chapinero, Vía Candelaria. Palmira-Valle del Cauca, Colombia.

² Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira -Dirección del Instituto de Estudios Ambientales, IDEA. Palmira, Colombia.

For correspondence. dpalvarados@unal.edu.co

Received: 22nd October 2014, **Returned for revision:** 18th December 2014, **Accepted:** 2nd February 2015.

Associate Editor: Xavier Marquinez Casas.

Citation / Citar este artículo como: Alvarado-Solano DP, Otero Ospina JT. Distribución espacial del Bosque Seco Tropical en el Valle del Cauca, Colombia. Acta biol. Colomb. 2015;20(3):141-153. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n2.46703>

RESUMEN

En el departamento del Valle del Cauca, la distribución de Bosque Seco Tropical (BsT) se ha asociado al valle geográfico del río Cauca ubicado en la zona plana. Actualmente en esta zona, su cobertura se ha reducido a pocos relictos que se encuentran bajo alguna figura de conservación y mantienen áreas representativas de las formaciones vegetales típicas de este bioma. Este trabajo se enfocó en el reconocimiento de la distribución espacial de formaciones vegetales de BsT en el departamento del Valle del Cauca. Se empleó información cartográfica secundaria para reconocer los biomas, ecosistemas y usos del suelo del área de estudio y en zonas adyacentes del piedemonte y montañas. Un modelo digital de elevaciones fue utilizado para realizar análisis altitudinales. En un sistema de información geográfico se aplicaron técnicas de geoprocetamiento y análisis geoespacial entre la información cartográfica y satelital. Los resultados evidencian que pese al avanzado deterioro de las coberturas de bosque seco en la zona plana, alrededor del 80 % se localiza en ecosistemas de montaña, específicamente en zonas de transición hacia bosques húmedos. A futuro, el potencial de estas áreas deberá evaluarse para ser incluidas en estrategias de conservación y restauración del bosque seco así como en el diseño de procesos adaptativos frente al cambio climático.

Palabras clave: biomas, conservación, sistema de información geográfico, Valle internandino.

ABSTRACT

The distribution of tropical dry forest in the department of Valle del Cauca, has been associated with the geographic Cauca valley. Currently in this area, dry forest coverages has been reduced to a few relicts, which are found under some protection figure and also hold representative areas of the typical vegetation of this biome. This work is focused on the spatial distribution of BsT vegetation formations in the Department of Valle del Cauca. Secondary cartographic information was used to recognize biomes, ecosystems and land uses in the study area and over adjacent areas of the piedmont and mountains. A digital elevation model was used to perform altitudinal analysis. The results showed that despite the high human disturbance of dry forest in the flat area, about 80 % is located in mountain ecosystems, specially on transition zones towards humid forests. In the future, the potential of these areas to be included in dry forest conservation and restoration strategies and also adaptive mechanisms in facing climate change should be evaluated.

Keywords: biomes, conservation, geographic information system, Interandean Valley.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el deterioro de las áreas naturales a nivel mundial se ha acelerado dramáticamente y las acciones humanas han desempeñado un papel considerable en esta transformación (Scolozzi *et al.*, 2012; Ruiz *et al.*, 2013). La tasa de conversión de coberturas naturales en coberturas agrícolas se ha estimado en 4×10^6 ha/año en los últimos cuarenta años (Tilman *et al.*, 2001) como resultado de la dinámica económica local y mundial (Aide *et al.*, 2013), llevando a la transformación de paisajes con gran diversidad biológica en paisajes homogéneos (Giraldo, 2012).

Uno de los ecosistemas más afectados por las actividades humanas ha sido el Bosque Seco Tropical (BsT). En la actualidad, se encuentra distribuido en Suramérica, Centroamérica, Eurasia, Australasia, África y el Sudeste de Asia sobre la franja tropical (Miles *et al.*, 2006). En Latinoamérica y el Caribe entre el periodo 2001-2010 presentó una deforestación del 80 %, principalmente en la Región del Chaco de Argentina, la región de Santa Cruz en Bolivia, la región occidental de Paraguay y el sur del Lago de Maracaibo en Venezuela (Aide *et al.*, 2013). Las condiciones climáticas y la fertilidad de sus suelos (Wright y Muller-Landau, 2006) favorecieron el desarrollo agrícola y ganadero (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010), así como los asentamientos humanos (Espírito-Santo *et al.*, 2009) desde los tiempos de la colonización española (Patiño, 1975). En consecuencia, el BsT se encuentra en la actualidad altamente fragmentado y deteriorado (Cotler y Ortega-Larrocea, 2006) siendo reconocido como el ecosistema más perturbado y el menos conocido (Fajardo *et al.*, 2013).

En el Valle del Cauca, específicamente en la zona plana, donde se localiza el Valle Geográfico del Río Cauca (VGRC), se puede encontrar el área de distribución del BsT. Sin embargo, su cobertura ha sido reducida a tal grado que su avanzado estado de degradación ha llevado a suponer su desaparición, no sólo en el departamento, sino a nivel nacional (Reina, 1996; Reina-Rodríguez *et al.*, 2010; IAvH, 2013). Por ejemplo, en un estudio adelantado por Sánchez-Cuervo *et al.* (2012) donde se evaluó el cambio de uso del suelo en Colombia para el periodo 2001 - 2010, se identificaron áreas de BsT en el valle del río Magdalena, valle del río Sinú, y en Apure-Villavicencio, pero no en el VGRC. La situación es más preocupante cuando en la literatura científica se menciona que en el departamento del Valle del Cauca quedan menos de diez relictos de BsT de importancia, luego de la reducción de su cobertura desde 1986 (Armbrecht y Ulloa-Chacón, 1999; Arcila-Cardona *et al.*, 2012). Es en estos relictos donde se ha enfocado la atención del público académico y científico por tratarse de fragmentos con las mayores áreas de cobertura. Dicha situación ha catalogado el departamento como la región con la menor extensión de bosque seco y aquel en donde éste presenta la mayor vulnerabilidad a nivel nacional (Arcila-Cardona *et al.*, 2012).

La forma en que los biomas y ecosistemas son clasificados puede desempeñar un papel importante en su estado de conservación actual y futuro. En el caso de los ecosistemas terrestres, su distribución está relacionada con factores como la humedad, la precipitación y la altitud. La interacción de estos factores ambientales ha originado unas dinámicas espaciales y temporales particulares en la vegetación. Dichas dinámicas han sido reconocidas en los diferentes sistemas de clasificación de ecosistemas a nivel mundial. De éstos los más conocidos son el sistema de Zonas de Vida de Holdridge y el de Biomas de Whittaker. En Colombia, IDEAM *et al.* (2007) estandarizaron el sistema de clasificación de los ecosistemas continentales, costeros y marinos con la producción cartográfica respectiva en términos de su distribución a nivel nacional. El propósito principal de este proceso es facilitar el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas del país (González *et al.*, 2012). Posteriormente, en el departamento del Valle del Cauca, el mapa de Ecosistemas fue actualizado (CVC y FUNAGUA, 2010), y como resultado, el bioma Bosque Seco y Humedales del mapa de Ecosistemas de 1996 fue dividido en dos biomas, el Zonobioma Alternohigróico Tropical del Valle del Cauca (ZAHTVC) y el Helobioma del Valle del Cauca (HVC). Para llevar a cabo esta división, se tuvieron en cuenta las características específicas de cada una de estas zonas, como por ejemplo, las inundaciones periódicas producidas por el río Cauca durante la época de lluvias y que genera una dinámica específica en las comunidades biológicas que se desarrollan en el HVC. En el caso del ZAHTVC, la principal característica es la estacionalidad marcada de las lluvias, además de encontrarse sobre los depósitos aluviales del río Cauca y afluentes, y en las formaciones de la llanura aluvial de piedemonte, principalmente (CVC y FUNAGUA, 2010).

Sumado a lo anterior, la forma de delimitar un ecosistema, también puede influir en su estado de conservación actual y futuro. En el caso del BsT, su delimitación, y por ende, su definición, ha tenido varias interpretaciones (Miles *et al.*, 2006; Powers *et al.*, 2009). Dentro de los criterios para su delimitación se encuentran: 1) la precipitación media anual: que puede variar entre 700 y 2000 mm (Murphy y Lugo, 1986), 250 y 2000 mm (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005; Arcila-Cardona *et al.*, 2012) ó entre 1000 y 2000 mm (Espinal, 1964; Chacón de Ulloa *et al.*, 2012); 2) la temperatura media anual: parámetro cuyo valor varía entre diferentes autores, por ejemplo, que los valores de temperatura media anual superen los 17 °C (Arcila-Cardona *et al.*, 2012), o los 24 °C (Espinal, 1964; Torres *et al.*, 2012; Arcila-Cardona *et al.*, 2012; Chacón de Ulloa *et al.*, 2012) o que ésta sea mayor de 25 °C (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005); 3) la duración del periodo seco: que generalmente se prolonga por tres meses o más (Murphy y Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005); 4) las características deciduas de la vegetación (Murphy y Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005); y 5) el rango altitudinal: siendo este el criterio que ha sido más utilizado

para delimitar el bosque seco a nivel departamental, donde se emplean los rangos entre los 900 y 1200 m s.n.m. (Arcila-Cardona *et al.*, 2012), entre 900 y 1100 m s.n.m. (Chacón de Ulloa *et al.*, 2012) ó entre 0 y 1000 m s.n.m. para el caso de la delimitación a nivel nacional (Espinal, 1964; IDEAM *et al.*, 2007). Es en la definición de los valores de estas variables donde se han presentado diferencias. La falta de unificación de estos criterios ha resultado en esfuerzos de conservación ineficientes. De allí la importancia que presenta el trabajo realizado por las entidades nacionales y regionales para la producción de cartografía ecológica basada en información geopedológica, zonificación climática y coberturas de la tierra (Montoya, 2010).

Adicionalmente, además de los impactos generados sobre los ecosistemas como resultado de los cambios de uso del suelo, la deforestación y la fragmentación de hábitats, éstos deberán enfrentar el cambio climático (Urbina-Cardona, 2011; Palombo *et al.*, 2013). Se espera que el aumento de la temperatura y la modificación en los regímenes de precipitación tenga efectos importantes sobre la diversidad de los bosques, especialmente sobre aquellas especies que dependen de la heterogeneidad espacial; y específicamente de los individuos, quienes son los que responden directamente al cambio climático al competir por la disponibilidad de luz local y humedad (Clark *et al.*, 2012). Desde un enfoque fitoclimático, los ecosistemas boscosos pueden ser resilientes a cambios climáticos en ambientes con amplia versatilidad y que puedan albergar diferentes comunidades vegetales (García-López y Allué, 2011). En este sentido, este trabajo se enfocó en reconocer la distribución espacial del BsT en el departamento del Valle del Cauca, así como las coberturas naturales y seminaturales asociadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde a la zona plana (Valle Geográfico del Río Cauca), que es el área de distribución potencial del BsT en el departamento del Valle del Cauca (Reina-Rodríguez *et al.*, 2010). El mapa actualizado de Ecosistemas del Valle del Cauca (CVC y FUNAGUA, 2010), zonificó la zona plana en dos biomas regionales, el Zonobioma Alternohigrico Tropical del Valle del Cauca (ZAHTVC) y Helobioma del Valle del Cauca (HVC), teniendo en cuenta las características particulares que diferencian las áreas no inundables ubicadas en llanuras aluviales de piedemonte de las zonas de inundación periódica a lo largo del río Cauca, respectivamente. El área de estudio fue entonces delimitado a partir de dichos biomas regionales (Fig. 1), el cual cubre una extensión de 350959 ha donde se agrupan nueve ecosistemas: Arbustales y matorrales cálido seco en piedemonte aluvial, arbustales y matorrales medio húmedo en piedemonte coluvio-aluvial, bosque cálido húmedo en piedemonte coluvio-aluvial, bosque

cálido seco en lomerío fluvio-lacustre, bosque cálido seco en piedemonte aluvial, bosque cálido seco en piedemonte coluvio-aluvial, bosque inundable cálido seco en planicie aluvial, bosque cálido húmedo en planicie aluvial, y bosque cálido seco en planicie aluvial. El rango de distribución altitudinal del BsT (ZAHTVC y HVC) en la zona plana se encuentra generalmente entre los 900 m s.n.m. y 1100 m s.n.m. (Chacón de Ulloa *et al.*, 2012), aunque también se encuentra presente sobre los piedemontes de las cordilleras Central y Occidental asociado con los enclaves subxerofíticos (Vargas, 2012).

La zona se caracteriza por presentar un régimen climático bimodal, con una época lluviosa entre los meses de abril-mayo y octubre-noviembre, que representan el 70 % de la precipitación anual, y dos temporadas secas entre los meses de enero-febrero y julio-agosto (Armbrecht y Ulloa-Chacón, 1999). Esta zona se ha caracterizado porque los usos del suelo de este territorio se han dedicado a las actividades agrícolas y ganaderas desde el siglo XVI cuando inició la ocupación española, y luego de manera intensiva a mediados del siglo XX para el cultivo industrial de la caña de azúcar (Vargas, 2012).

Fuente de datos

El estudio empleó información cartográfica y satelital secundaria, producida por instituciones de nivel departamental, nacional e internacional. A nivel del departamento, la información cartográfica temática se encuentra disponible para consulta del público a través del GeoPortal de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (CVC, s.f.). Se utilizaron los mapas temáticos de ecosistemas y cobertura del suelo en formato vectorial. Los mapas corresponden a la última actualización cartográfica efectuada en el año 2010 y se encuentran a escala 1:100000. El mapa de ecosistemas incluye dos niveles jerárquicos, biomas y ecosistemas; el mapa de cobertura del suelo se divide en cuatro niveles jerárquicos, cada uno con una escala de detalle específico. En este estudio se utilizó el nivel tres de detalle correspondiente a las coberturas naturales y seminaturales de la clasificación Corine Land Cover, que incluye arbustales y matorrales naturales, áreas naturales abiertas sin o con poca vegetación, bosques naturales y superficies naturales y seminaturales. También se empleó el mapa preliminar de distribución de bosque seco tropical en Colombia (1:100000) elaborado en el 2012 (IAvH, 2013). Desafortunadamente, el enlace en la actualidad ya no se encuentra disponible, dado que ya se encuentra disponible la versión final del mapa de distribución de BsT para Colombia (IAvH, 2014). Se utilizaron además, el mapa de Reservas de la Sociedad Civil registradas ante Parques Nacionales y el mapa de otras categorías reconocidas por el SINAP, ambos descargados desde la página de Parques Nacionales en el acceso de datos abiertos (PNN, s.f.).

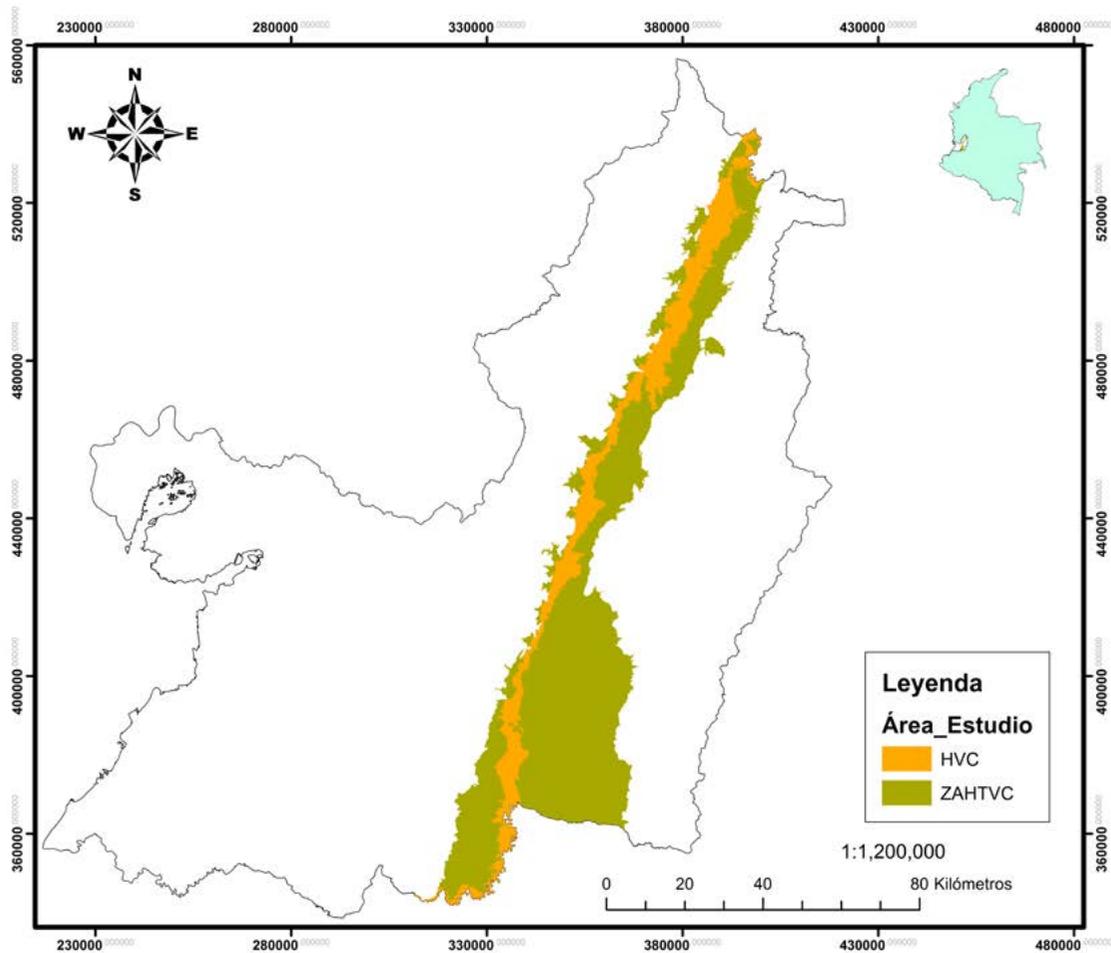


Figura 1. Zona de distribución potencial de Bosque Seco Tropical. Área de estudio obtenida a partir de la delimitación de los biomas regionales Zonobioma Alternohigróico Tropical del Valle del Cauca (ZAHTVC) y el Helobioma del Valle del Cauca, sobre el Valle Geográfico del Río Cauca, departamento del Valle del Cauca.

La información cartográfica empleada es de gran valor, pues ya ha sido procesada, evaluada y validada. En el caso del mapa preliminar de bosque seco tropical de Colombia, a la fecha de su producción, estaba siendo validada en campo, sin embargo, se consideró relevante incluirlo en la investigación, al ser producido por expertos en el tema.

Posteriormente, fueron registradas las coordenadas geográficas de los fragmentos representativos de bosque seco del Valle del Cauca (Chacón de Ulloa *et al.*, 2012) y convertidas en un *shapefile* de puntos (Tabla 1). De manera que pudiera observarse la distribución de otros fragmentos de bosque seco en el área de estudio, se utilizaron 15766 puntos georreferenciados que se encontraban registrados en una base de datos, producto del proyecto “Construcción de una propuesta de corredor biológico en el Bosque Seco Tropical a través del análisis de los remanentes de bosque

y humedales y el establecimiento y consolidación de la franja protectora del Río Cauca” (CVC y Universidad del Tolima, 2006). Estos también se convirtieron a puntos en un *shapefile*. De la base de datos, se empleó la información relacionada con las coordenadas geográficas y el municipio donde fueron reportados. Un modelo de elevación digital fue empleado para definir las ubicaciones altitudinales de la información cartográfica (GLCF, 2008).

Procesamiento de información cartográfica y satelital

Para el procesamiento de la información cartográfica y satelital se utilizó el software comercial de SIG ArcGis® 10.2 for Desktop, tipo de Licencia Básica de la empresa ESRI, en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, institución responsable de la Licencia. La preparación de la

Tabla 1. Relictos representativos de Bosque Seco Tropical del Valle del Cauca. Las coordenadas se obtuvieron a partir de Chacón de Ulloa *et al.* (2012), la altitud se obtuvo por análisis de superficie a partir del modelo digital de elevación.

Nombre Relicto	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)
Colindres	3°16'25,8"N	76°29'31"W	954,07
Parque Natural Regional El Vínculo	3°50'2,38"N	76°17'19,7"W	1057,17
Las Chatas	3°51'20,8"N	76°20'5,35"W	939,40
El Medio	4° 20'13,8"N	76° 5'0,1"W	938,81
Las Pilas	4°26'25,7"N	75°59'23,1"W	999,83
Jardín Botánico Juan María Céspedes	4° 1'43,45"N	76° 9'29,11"W	1180,25
Hacienda el Hatico	3°38'26,02"N	76°19'15,96"W	999,15
El Tiber	4° 2'44,99"N	76°18'28,08"W	933,73

información cartográfica y satelital requirió la aplicación de métodos de geoprocésamiento. La información cartográfica y satelital fue proyectada al Sistema de Coordenadas WGS1984 Zona UTM 18N para facilitar el análisis posterior.

El área de estudio (ZAHTVC y HVC) fue extraído del mapa de Ecosistemas mediante el procedimiento *Dissolve* del módulo de geoprocésamiento. Esta herramienta permite fusionar polígonos adyacentes que comparten un mismo valor de un atributo específico. En este caso, todos los polígonos correspondientes a los ecosistemas que conformaban los Biomas ZAHTVC y HVC se unieron bajo el atributo en común que fue el Bioma en cada caso particular. El polígono resultante del área de estudio fue empleado como máscara para ajustar la información cartográfica restante así como la información satelital. El procedimiento *Clip* fue aplicado con este propósito, puesto que del conjunto de atributos que contiene cada mapa, sólo se requerían para la investigación, aquellos que se encontraran dentro del área de estudio. En consecuencia, se recortaron con el polígono del área de estudio, el mapa de áreas protegidas de Colombia, el mapa preliminar de bosque seco de Colombia y el mapa de cobertura del suelo del Valle del Cauca. De este último, las coberturas del tercer nivel de detalle correspondientes a superficies naturales y seminaturales fueron extraídas mediante la herramienta *Dissolve*.

El modelo de elevación digital se compone de dos imágenes satelitales (p009r57z18 y p009r58z18) georreferenciadas en el Sistema de Coordenadas WGS 1984 Zona UTM 18N, y en formato ráster. Dado que las dos imágenes cubren una extensión mayor que el área del departamento del Valle del Cauca, fueron procesadas inicialmente en el módulo *Spatial Analyst*, aplicando la herramienta *Extract by Attributes*, siendo la altitud el atributo empleado para extraer la información de interés. El valor mínimo definido fue cero para eliminar los NODATAS. Así al combinar las dos imágenes en un mosaico se evita la superposición de bordes negros que corresponden a los bordes de las imágenes. Para la unión de las dos imágenes se aplicó el procedimiento *Mosaics* para Dataset Raster en el

módulo de *DATA MANAGMENT*. Por otro lado, el mosaico del modelo digital de elevación fue empleado para agregar la información de altitud a los *shapefile* de relictos bosque seco y de los puntos georreferenciados de otros fragmentos de bosque seco, aplicando en este proceso, las herramientas de análisis de superficie en el módulo *3D ANALYST*.

Análisis de cobertura de bosque seco y otras coberturas naturales y seminaturales

Una vez fueron ajustados para el área de estudio los mapas de áreas protegidas de Colombia, el de otras categorías de protección reconocidas por el SINAP, el mapa preliminar de bosque seco tropical de Colombia, y el de coberturas naturales y seminaturales del departamento, se procedió a cuantificar la presencia de formaciones vegetales de bosque seco. Por su parte, el mapa de ecosistemas del departamento fue utilizado para reconocer los biomas y ecosistemas de la información cartográfica descrita anteriormente (Tabla 2).

Análisis altitudinal

El polígono del área de estudio se utilizó como máscara para recortar el mosaico del modelo digital de elevación y así reconocer su rango altitudinal. Luego, esta información fue comparada con los datos altitudinales de los relictos representativos, con los polígonos del mapa preliminar de bosque seco ajustado para el área de estudio, con los datos de altitud de los puntos georreferenciados de bosque seco.

RESULTADOS

Distribución de bosque seco y coberturas naturales

Mediante herramientas de geoprocésamiento y utilizando el mapa preliminar de bosque seco de Colombia, se encontraron polígonos de bosque seco dentro del área de estudio (ZAHTVC y HVC) y fuera de éste. Lo anterior llevó a identificar el bioma sobre el que estaban ubicados los polígonos externos de bosque seco, empleando para ello el mapa de Ecosistemas. Los biomas identificados fueron el Orobioma Azonal (OA), específicamente sobre los ecosistemas arbustales y matorrales cálido muy seco

Tabla 2. Ecosistemas del área de estudio (Zonobioma Alternohígrico Tropical del Valle del Cauca y Helobioma del Valle del Cauca) y de los biomas Orobioma Bajo de los Andes y Orobioma Azonal, y la descripción de las principales variables ambientales.

Ecosistema	Temperatura media (°C)	Rango altitudinal (m s.n.m.)	Precipitación Media Anual (mm/año)
Zonobioma Alternohígrico Tropical del Valle del Cauca			
Arbustales y matorrales cálido seco en piedemonte aluvial	28	950-1000	1500
Arbustales y matorrales medio húmedo en piedemonte coluvio-aluvial	18-24	1000-1300	1800 - 2500
Bosque cálido húmedo en piedemonte coluvio-aluvial	> 24	960 - 1000	1600 - 2300
Bosque cálido seco en lomerío fluvio-lacustre	28	900 - 1000	1200 - 2000
Bosque cálido seco en piedemonte aluvial	28	950 - 1020	900 - 1350
Bosque cálido seco en piedemonte coluvio-aluvial	> 24	1000 - 1400	1100 - 1500
Helobioma del Valle del Cauca			
Bosque inundable cálido seco en planicie aluvial	28	930-950	1200 - 1400
Bosque cálido húmedo en planicie aluvial	> 24	<1000	1500 - 2500
Bosque cálido seco en planicie aluvial	> 24	900-950	900 - 1500
Orobioma Bajo de los Andes			
Arbustales y matorrales medio seco en lomerío estructural-erosional	18-24	950 - 1200	1500
Arbustales y matorrales medio seco en montaña fluvio-gravitacional	18-24	1100 - 1500	< 1200
Bosque cálido húmedo en montaña fluvio-gravitacional	>24	400-1400	1300-5000
Bosque medio húmedo en montaña fluvio-gravitacional	18-24	1000-2500	1000-2000
Bosque medio húmedo en montaña estructural-erosional	18-24	1000-1500	1500-2000
Bosque medio húmedo en piedemonte diluvial	18-24	1000-1600	1700-2000
Bosque medio muy húmedo en montaña fluvio-gravitacional	18-24	1000-2000	1800-2400
Bosque medio seco en montaña fluvio-gravitacional	18-24	1000-2000	900-1600
Bosque cálido muy húmedo en montaña fluvio-gravitacional	>24	200-1400	3000-6000
Orobioma Azonal			
Arbustales y matorrales cálido muy seco en montaña fluvio-gravitacional	>24	500-1100	< 1000
Arbustales y matorrales medio muy seco en montaña fluvio-gravitacional	18-24	1000-2000	1000

en montaña fluvio-gravitacional y arbustales y matorrales medio muy seco en montaña fluvio-gravitacional; el Orobioma Bajo de los Andes (OBA) en los ecosistemas arbustales y matorrales medio seco en lomerío estructural-erosional, arbustales y matorrales medio seco en montaña fluvio-gravitacional, bosque cálido húmedo en montaña fluvio-gravitacional, bosque cálido muy húmedo en montaña fluvio-gravitacional, bosque medio húmedo en montaña estructural-erosional, bosque medio húmedo en montaña fluvio-gravitacional, bosque medio muy húmedo en montaña fluvio-gravitacional y bosque medio seco en montaña fluvio-gravitacional; y el Orobioma Medio de los Andes (OMA) sobre los ecosistemas bosque frío húmedo en montaña fluvio-gravitacional, bosque frío muy húmedo en montaña fluvio-gravitacional y bosque frío pluvial en montaña fluvio-gravitacional. Por otro lado, de las 802676,11 ha de BsT que tiene el país, el departamento del Valle del Cauca representa el 9,46 % y el área de estudio el 0,79 %. En relación a las 75920,93 ha de bosque seco que

posee el departamento, un 8 % aproximadamente se localiza en el área de estudio. Teniendo en cuenta que a través del geoprocetamiento se identificaron polígonos de bosque seco sobre los biomas OBA, OA y OMA, se consideró de importancia cuantificar las áreas de bosque seco allí presentes. Siendo así que frente al área total de bosque seco del departamento, OBA registra el 77,09 % (58531,03 ha), OA el 9,08 % (6892,06 ha) y OMA el 5,5 % (4176,04 ha). En relación a las 350959,83 ha del área de estudio, el 1,8% corresponde a BsT. Esta cifra aumenta al cuantificar el área de bosque seco respecto al área de los biomas OBA y OA, el cual registró el 6,93 % y el 7,63 % respectivamente (Fig. 2).

Los mapas de áreas protegidas y de otras categorías de protección reconocidas por el SINAP presentan un comportamiento similar. En el caso de áreas protegidas, se registraron el Parque Natural Regional El Vínculo y la Reserva Forestal Protectora Nacional de los Ríos Zabaletas y Cerrito. Cada una posee un área de 83,35 ha y 900,04 ha respectivamente, de las cuales, la primera, conserva

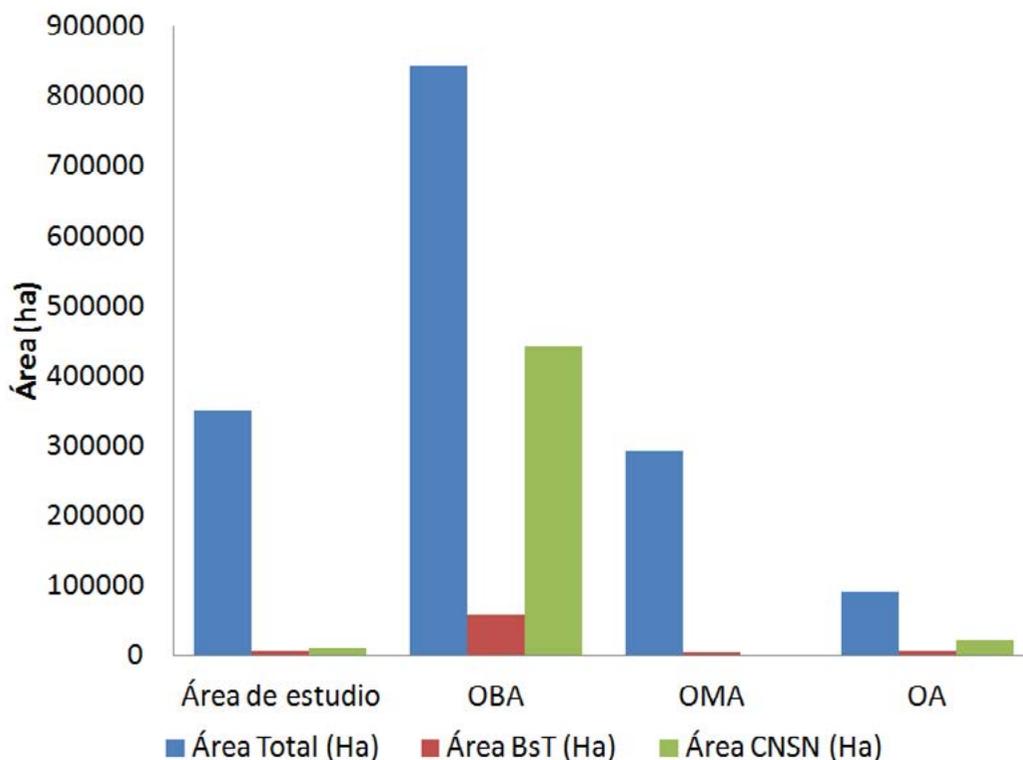


Figura 2. Comparación de las áreas en formaciones de bosque seco tropical y de coberturas naturales y seminaturales entre el área de estudio (ZAHTVC: Zonobioma Alternohigrico Tropical del Valle del Cauca y HVC: Helobioma del Valle del Cauca) y los Biomos OBA: Orobioma Bajo de los Andes y OA: Orobioma Azonal.

91,17 % y la segunda, 35,62 % fuera del área de estudio. Las áreas excluidas de estas áreas protegidas se localizan en el Bioma OBA sobre los ecosistemas arbustales y matorrales medio seco en lomerío estructural-erosional y arbustales y matorrales medio seco en montaña fluvio-gravitacional. En el mapa ajustado de otras categorías de protección reconocidas por el SINAP se registraron los polígonos Miravalle y Cusagui. Los dos están dentro del área de estudio y tienen cada una, 28,99 ha y 13,67 ha respectivamente. En términos generales y con la información cartográfica disponible, se encuentran bajo protección alrededor de 629,5 ha dentro del área de estudio, lo que equivale al 0,18 % de su área total.

En cuanto a coberturas naturales y seminaturales (CNSN), el Valle del Cauca presenta el 55,22 % de un área total de 2093857,62 ha, bajo estas coberturas. En el área de estudio, la proporción disminuye, de las 350959,83 ha que posee, sólo el 3,54 % son CNSN. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la revisión de los polígonos de bosque seco en el departamento y de áreas protegidas, se procedió a cuantificar las coberturas naturales y seminaturales en los biomas OBA y OA, encontrando resultados contrastantes respecto al área de estudio. En OBA, que posee un área total de 844369,66 ha, el 52,43 % presenta CNSN, mientras que OA con 90317,09 de área total, posee un 24,21 % (Fig. 2).

De igual manera, cuando se revisaron los ecosistemas sobre los que se encontraban los relictos representativos y los puntos georreferenciados de bosque seco, se encontró que los relictos del Jardín Botánico (JB) Juan María Céspedes, Las Pilas y el Parque Natural Regional (PNR) El Vínculo están fuera del área de estudio, específicamente en OBA sobre el ecosistema arbustales y matorrales medio seco en lomerío estructural-erosional. En el caso de los puntos georreferenciados de fragmentos de bosque seco del proyecto de corredor biológico del Río Cauca (CVC y Universidad del Tolima, 2006), alrededor del 2,68 % de éstos se localizaron en los ecosistemas arbustales y matorrales medio seco en montaña fluvio-gravitacional, arbustales y matorrales medio seco en lomerío estructural erosional, bosque medio húmedo en montaña fluvio-gravitacional y bosque medio húmedo en montaña estructural-erosional del OBA; también se encontraron en arbustales y matorrales medio muy seco en montaña fluvio-gravitacional del OA.

Análisis altitudinal

El análisis geoespacial a partir del GLSDEM obtenido para el área de estudio muestra un rango altitudinal entre los 892 m s.n.m. y los 1695 m s.n.m. La altura máxima se localizó en dos sitios, entre las coordenadas 3°18'47,871"N y 76°35'48,339"W (Fig.3a) y los 3°17'2,683"N y

76°36'6,128" W (Fig. 3b), sobre el ecosistema arbustales y matorrales medio húmedo en piedemonte coluvio-aluvial, municipio de Jamundí, al sur del área de estudio. Cuando se agregó la información altitudinal a los relictos de bosque seco, estos se encontraron entre los 933 m s.n.m. y los 1180 m s.n.m. (Tabla 1). Aunque los relictos Las Pilas, el JB Juan María Céspedes y el PNR El Vínculo se encuentran dentro del rango altitudinal, están fuera del área de estudio (Fig. 4a-4c). En el caso de los polígonos de bosque seco del mapa preliminar, la altura mínima registrada fue de 208 m s.n.m., en las coordenadas 4°24'5,84"N 76°31'49,603"W en el Resguardo Sanguinini del municipio de Bolívar; la altura máxima fue de 3014 m s.n.m., en las coordenadas 3°15'24,85"N 76°43'53,957"W en el corregimiento de San Antonio, municipio de Jamundí.

Los puntos georreferenciados de fragmentos de bosque seco del proyecto de Corredor Biológico del Río Cauca presentaron el mismo comportamiento. El punto más bajo se ubicó a los 897 m n.s.m. en el municipio de Ansermanuevo

y el más alto a los 1313 m s.n.m. en el municipio de Ginebra. En la base de datos construida en dicho proyecto, fueron registrados 28 municipios que contaban con puntos georreferenciados asociados a formaciones de bosque seco. El municipio con la menor cantidad de puntos georreferenciados de BsT fue Vijes con 36, y el municipio con la mayor cantidad de puntos fue Palmira con 2402. Los municipios con formaciones de BsT que superaron los 500 puntos georreferenciados fueron Palmira (2402 puntos), Jamundí (1770 puntos), Candelaria (1155 puntos), El Cerrito (946 puntos), Cali (909 puntos), Cartago (764 puntos), Tuluá (663 puntos), Zarzal (575 puntos), Guacarí (552 puntos) y Buga (510 puntos). El rango altitudinal, donde se concentraron los fragmentos de bosque seco, fue, de mayor a menor cantidad, el siguiente: entre los 890 y 990 m s.n.m. (11430 fragmentos), seguido del rango 991-1090 m s.n.m. (3805 fragmentos), el rango 1091-1190 m s.n.m. (503 fragmentos), 1191-1290 m s.n.m. (26 fragmentos) y 1291 - 1390 (2 fragmentos).

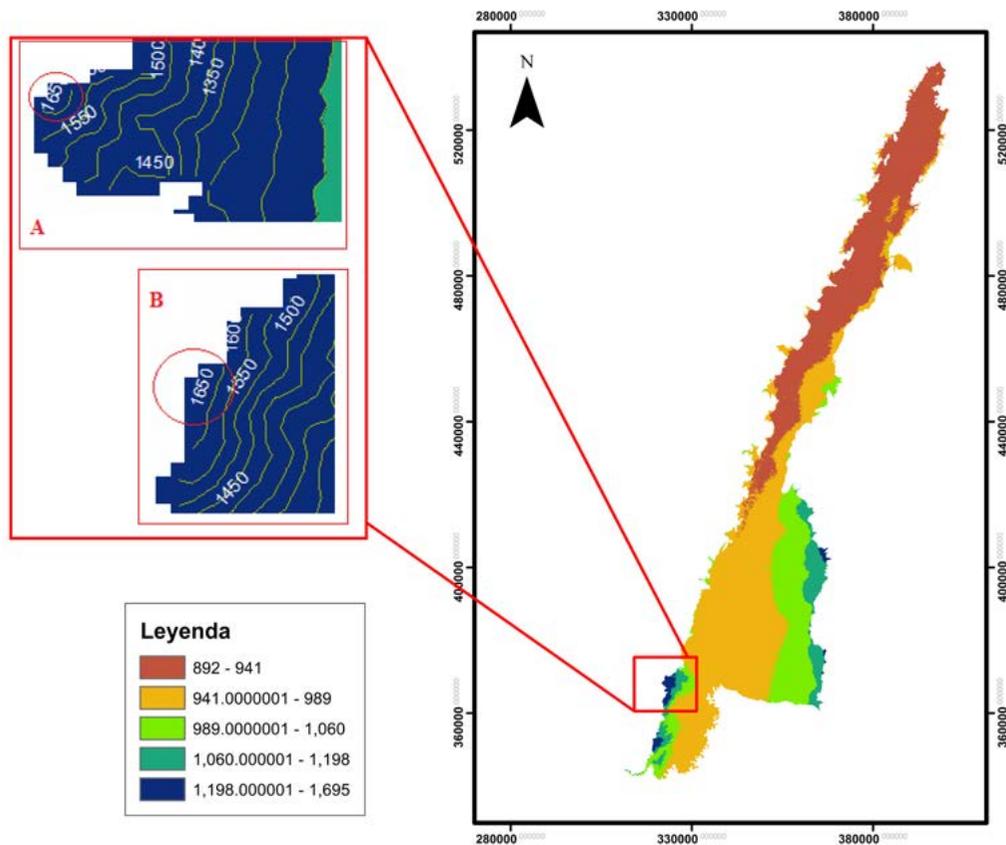


Figura 3. Diferencias en rango altitudinal a lo largo de la zona de estudio (ZAHTVC: Zonobioma Alternohígrico Tropical del Valle del Cauca y HVC: Helobioma del Valle del Cauca). Las alturas más bajas se observan desde la parte centro-oriental en dirección al norte. Las alturas superiores a los 1200 m s.n.m. aproximadamente se encuentran sobre de las Cordilleras Occidental y Central, destacándose la presencia de una altura máxima de 1695 m s.n.m. en dos puntos en el sur del área de estudio.

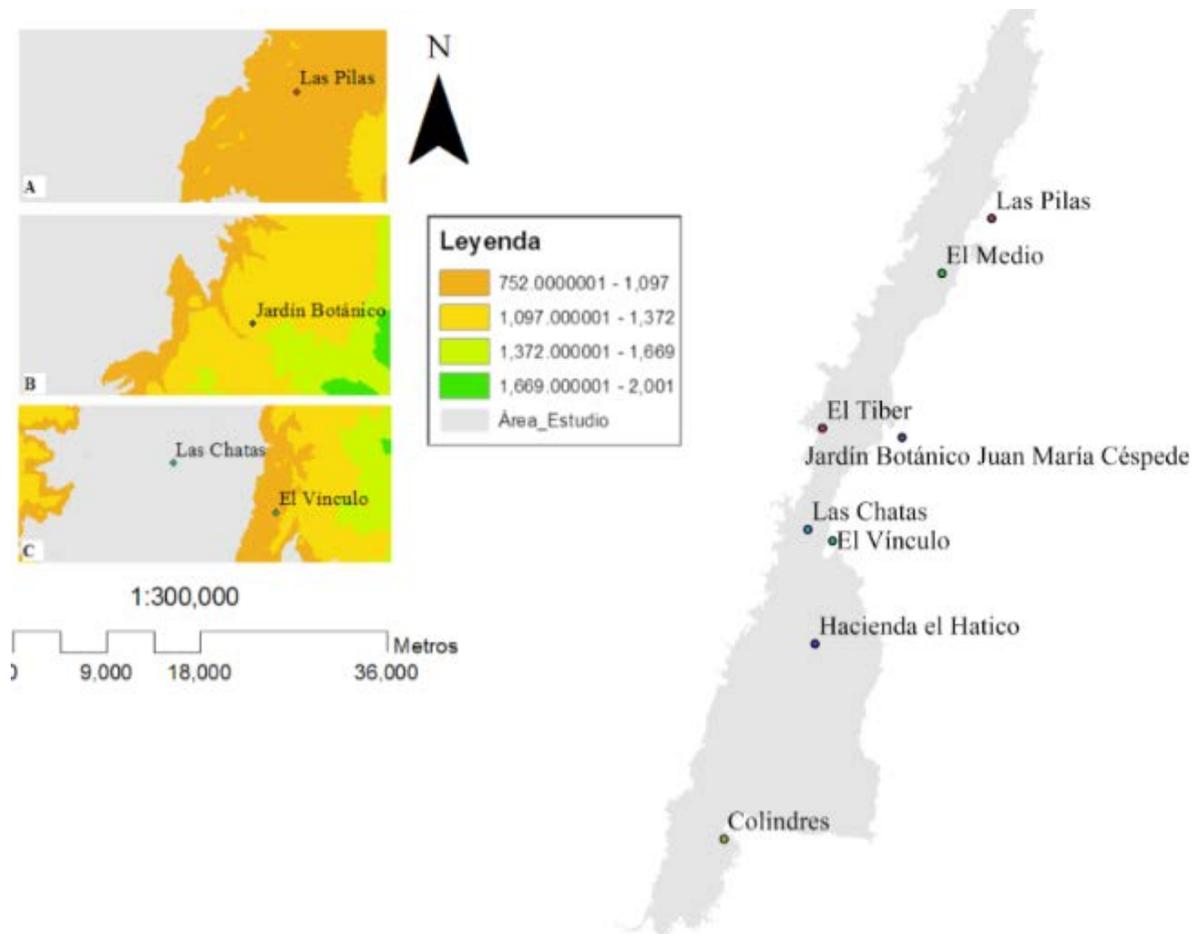


Figura 4. Relictos representativos de BsT que se encuentran fuera del área de estudio aunque se ubican dentro del rango altitudinal empleado para bosque seco (900 – 1200 m s.n.m.).

DISCUSIÓN

El presente manuscrito tuvo como propósito reconocer la distribución espacial del BsT en el departamento del Valle del Cauca. Para definir el área de estudio, se tuvo en cuenta la delimitación de los biomas regionales Zonobioma Alternohigrico Tropical del Valle del Cauca y el Helobioma del Valle del Cauca. Estas categorías hacen parte de la actualización del mapa de ecosistemas del departamento (CVC y FUNAGUA, 2010), pues en el mapa anterior de ecosistemas del año 1996, los biomas mencionados anteriormente se encontraban bajo una sola categoría, Bosques Secos y Humedales (CVC y FUNAGUA, 2010). Dichos biomas regionales están asociados a la zona plana, sobre el Valle Geográfico del Río Cauca, de allí a que frecuentemente se relacione la zona plana del departamento con el área donde se puede encontrar bosque seco, pese a que se ha reconocido que también está presente en el piedemonte y asociado con formaciones subxerofíticas (Vargas, 2012).

Los resultados del geoprocesamiento de la información cartográfica utilizada, evidencian que este Gran Bioma (IDEAM *et al.*, 2007) cubre áreas importantes fuera del área de estudio, especialmente en el piedemonte, lomeríos y montañas en la zona de transición hacia bosques húmedos, sobre biomas regionales de montaña, como el Orobioma Bajo de los Andes, el Orobioma Medio de los Andes, y también en zonas de transición hacia bosques muy secos, sobre el bioma Orobioma Azonal. El hecho de que los biomas regionales de montaña presenten formaciones vegetales de bosque seco y de otras coberturas naturales y seminaturales, refleja la metodología empleada en la actualización del mapa de ecosistemas y en el mapa de cobertura del suelo del Valle del Cauca. En ese proceso se tuvieron en cuenta variables climáticas, como la temperatura, precipitación anual, pisos térmicos y provincias de humedad; y variables biofísicas relacionadas con unidades morfogeológicas, unidades de suelo y material litológico. El esquema de clasificación por subdivisión empleado obtuvo una lectura holística del

territorio, identificando de esta manera, unidades ecológicas más próximas a la realidad (CVC y FUNAGUA, 2010), pues incluyeron componentes del territorio y trabajaron dos niveles de integración: bioma y ecosistema.

Las diferentes metodologías para cartografiar ecosistemas se basan en los componentes del territorio y en una escala de detalle que es determinada por los niveles de integración, que incluyen tipo general de bioma, bioma y el ecosistema; el bioma está relacionado con afinidades florísticas, en cambio, el ecosistema involucra aspectos biofísicos (IDEAM, 2011). Aunque en dicho ejercicio es importante involucrar la distribución de especies y otros procesos generadores de ecosistemas (IDEAM, 2011), generalmente se aplica la metodología basada en superposición de mapas temáticos ya existentes, pues visibilizan la variabilidad espacial de las diferentes unidades ecológicas que conforman los ecosistemas (CVC y FUNAGUA, 2010).

Por ejemplo, La clasificación de zonas de vida de Holdridge se caracteriza por estar conformada por una serie de hexágonos en los que confluyen factores como la precipitación promedio anual, la biotemperatura promedio anual y la relación de evapotranspiración potencial, pisos latitudinales y pisos altitudinales (Jiménez, 1980). Holdridge (2000) observó patrones de distribución de diferentes formaciones vegetales en asociaciones de tipo climática, edáfica, atmosférica e hídrica, que hacían parte de unas zonas de vida específicas. Estas zonas estaban conectadas a través de áreas de transición, las cuales fueron incluidas en los triángulos que formaban los hexágonos en cada una de sus esquinas (Jiménez, 1980). Para el caso específico de la zona de vida de bosque seco, como ha sido clasificado en el sistema de Holdridge, se presentan zonas de transición hacia el bosque húmedo, bosques muy secos y hacia montes espinosos, con valores similares o superpuestos de temperatura media anual, rango altitudinal y de precipitación media anual (Tabla 2).

En relación con la distribución espacial en términos altitudinales, el bosque seco se ha asociado generalmente a un rango específico. En Colombia, IDEAM *et al.* (2007) lo ubicaron entre los 0 y 800 m s.n.m.; para el Valle del Cauca, la presencia de BsT ha estado asociado a la zona plana entre los 900 y 1100 m s.n.m. (Chacón de Ulloa *et al.*, 2012) ó hasta los 1200 m s.n.m. (Reina-Rodríguez *et al.*, 2010; Arcila-Cardona *et al.*, 2012). En el presente manuscrito se llevó a cabo un análisis altitudinal del área de estudio delimitada a partir de los biomas ZAHTVC y HVC, empleando un modelo digital de elevación. Los resultados muestran diferencias frente a las delimitaciones altitudinales registradas anteriormente para la zona plana como área de distribución del bosque seco (Fig. 3). Se observó que la altitud no es un valor uniforme a lo largo de los límites del área de estudio, específicamente en los límites externos del Zonobioma Alternohígrico Tropical del Valle del Cauca, como se observó en la altura máxima localizada a 1695 m s.n.m, sobre un ecosistema medio

húmedo. Los resultados concuerdan con la presencia de polígonos, relictos representativos y de otros fragmentos de bosque seco en biomas de montaña, en zonas de transición hacia bosques húmedos. En este sentido, es claro que las formaciones vegetales de bosque seco, aunque pueden crecer en unas áreas específicas alcanzando un estado maduro de desarrollo o clímax, también pueden desenvolverse en otras zonas donde los diferentes elementos naturales pueden encontrar condiciones favorables, aunque alguno de los factores que influyen en su distribución y abundancia no se encuentren en su nivel óptimo (Jiménez, 1980).

Es claro que las futuras investigaciones de bosque seco en el departamento del Valle del Cauca deben dirigirse hacia estudios detallados de la estructura, composición y función de las áreas que presentan condiciones favorables para el desarrollo de estas formaciones vegetales. Al respecto, Hernández *et al.* (1992), sugirieron que la vegetación de bosque seco se había derivado de bosques más húmedos. Por otro lado, Miles *et al.* (2006) identificaron que a nivel regional, los bosques secos pueden estar agrupados entre cuatro a seis tipos bioclimáticos, reflejando una tolerancia amplia de rango climático de estas formaciones vegetales. Al respecto, Banda *et al.* (2006) encontraron afinidades florísticas de 183 especies vegetales de bosques secos del Caribe Colombiano y bosques húmedos de Urabá-Magdalena, de Centroamérica y de los valles interandinos de Colombia empleando un análisis panbiogeográfico.

Por otro lado, Vargas (2012) elaboró un listado de 1357 especies vegetales, enfocado a las arbóreas, a partir de colectas en bosques secos en el Valle Geográfico del Río Cauca desde el departamento de Risaralda hasta el departamento del Cauca, incluyendo los piedemontes y enclaves subxerofíticos y secos de las cordilleras Central y Occidental. Sus resultados evidencian el alto grado de transformación del bosque seco, y la alta vulnerabilidad a la que están expuestos los fragmentos claves, por ello, resaltó la importancia de procesos de restauración que generen hábitat y conectividad a nivel del paisaje para reducir el riesgo de las especies amenazadas. Arcila-Cardona *et al.* (2012) proponen que los proyectos de reconexión de fragmentos de bosque seco utilicen elementos del paisaje como guaduales y bosques riparios, y apliquen técnicas de gestión de la matriz del paisaje para facilitar el flujo de organismos. Los ecosistemas localizados en los biomas montañosos (Tabla 2), y las áreas con coberturas naturales y seminaturales localizados sobre éstos, pueden convertirse en candidatos en este tipo de estrategias (Herrera, 2011), pues al igual que los fragmentos de bosque seco, éstas áreas también están en riesgo de desaparecer por efecto de las actividades antrópicas por su conversión para uso agrícola (García, 2011; Putz y Romero, 2014).

Por ende, futuras investigaciones deberán dirigirse hacia la integración de información florística de bosques secos del departamento, como la publicada por Vargas (2012),

en análisis espaciales que generen conocimiento sobre la distribución geográfica de las especies, especialmente aquellas altamente amenazadas y su relación con las biomas de montaña, ya que pueden llegar a desempeñar un papel importante en la conservación de formaciones vegetales localizadas a altitudes más bajas como el bosque seco. Por ejemplo, Aide *et al.* (2013) encontraron que la altitud es uno de los factores ambientales que predice los cambios de vegetación al limitar las prácticas de uso del suelo que son factibles en la región. Por ello, en las zonas de mayor altitud puede presentarse una recuperación importante de la cobertura forestal de acuerdo a la tendencia de reforestación mundial, tendencias que no son tenidas en cuenta en los estudios de deforestación como señalan Sánchez-Cuervo *et al.* (2012).

Finalmente, bajo los diferentes escenarios de cambio climático, es importante tener presentes los ecosistemas localizados sobre biomas de montaña, pues se esperan ascensos o reducciones de zonas bioclimáticas por el cambio en la distribución y diversidad de las especies (Serrano *et al.*, 2008) y la colonización de tierras altas en montañas tropicales (Seimon *et al.*, 2008). La respuesta de las comunidades biológicas y de las especies se verá además influenciada por las relaciones sinérgicas entre el cambio climático y los cambios de uso del suelo (Palombo *et al.*, 2013), sin embargo, las especies más susceptibles al cambio climático serán aquellas con rangos de distribución altitudinales estrechos (Urbina-Cardona, 2011). De allí la importancia de fortalecer el estado del conocimiento acerca de la diversidad biológica asociada a los bosques secos del departamento, no sólo en términos de los efectos que la fragmentación en la zona plana ha tenido sobre las especies estudiadas, como las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) (Chacón de Ulloa *et al.*, 2012), la flora (Vargas, 2012), sino además, en el reconocimiento de sus rangos de distribución y de tolerancia climática.

CONCLUSIONES

El bosque seco tropical del departamento del Valle del Cauca ha sido expuesto a un estado de deterioro avanzado en su principal zona de distribución potencial, la zona plana. El presente manuscrito reconoció que la distribución espacial de formaciones vegetales de bosque seco y de otras coberturas naturales y seminaturales, también está relacionada con ecosistemas localizados en biomas de montaña que presentan condiciones ambientales similares, principalmente sobre el Oroboma Bajo de los Andes. Es así que con miras en el diseño e implementación de futuras estrategias de restauración y conservación de bosque seco, estas áreas identificadas son candidatos potenciales, por lo que es importante adelantar caracterizaciones ecosistémicas, enfocados en su estructura y función. La observación de la variabilidad en el rango altitudinal a lo largo del área de estudio se convierte en una oportunidad

para futuras investigaciones enfocadas a estudiar los cambios en la cobertura de bosque seco, distribución de especies desde un enfoque biogeográfico, al reconocimiento de rangos de distribución y de tolerancia y las alteraciones que pueden presentarse por efectos del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

A Guillermo Reina, por la asesoría científica prestada, resaltando la presencia de fragmentos de bosque seco en el área de piedemonte y la importancia de tener estas áreas en cuenta durante la investigación. También a Alejandro Castaño del Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca – INCIVA por facilitar información cartográfica de bosque seco tropical, de ecosistemas y de coberturas del suelo del Valle del Cauca en formato vectorial. Al grupo de investigación en Orquídeas, Ecología y Sistemática Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (COL 0066015), por su apoyo en el desarrollo de la Tesis de Maestría titulada “Dinámica Espacio – Temporal de la Cobertura de Bosque Seco Tropical en el Departamento del Valle del Cauca” del Programa de Posgrado de Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, dentro del cual se enmarca esta investigación.

REFERENCIAS

- Aide T, Clark M, Grau H, López-Carr D, Levy M, Redo D, *et al.* Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010). *Biotropica*. 2013;45(2):262-271. Doi:10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x.
- Arcila-Cardona AM, Valderrama AC, Chacón de Ulloa P. Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*. 2012;13(2):82-101.
- Armbrecht I, Ulloa-Chacón P. Rareza y diversidad de hormigas en fragmentos de bosque seco colombianos y sus matrices. *Biotropica*. 1999;31(4):646-653. Doi: 10.1111/j.1744-7429.1999.tb00413.x.
- Banda K, Galeano G, Cortés R. Análisis biogeográfico de la flora de un bosque seco tropical (bs-T) en el Caribe colombiano. *Acta Biolo Colomb*. 2006;11(1):144-145.
- Chacón de Ulloa P, Osorio-García AM, Achury R, Bermúdez-Rivas C. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del Bosque seco Tropical (Bs-T) de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*. 2012;13(2):165-181.
- Clark J, Bell D, Kwit M, Stine A, Vierra B, Zhu K. Individual-scale inference to anticipate climate-change vulnerability of biodiversity. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2012;365(1586):236-46. Doi: 10.1098/rstb.2011.0183.
- Corporación Autónoma Regional del Valle Del Cauca-CVC, Fundación Agua Viva-FUNAGUA. Aunar esfuerzos técnicos y económicos para realizar el análisis preliminar de la representatividad ecosistémica, a través de la recopilación, clasificación y ajuste de información

- primaria y secundaria con rectificaciones de campo del mapa de ecosistemas de Colombia, para la jurisdicción del Valle del Cauca. Informe Final; 2010. p. 243.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC, Universidad del Tolima. Construcción de una Propuesta de Corredor Biológico en el Bosque Seco Tropical a través del Análisis de los Remanentes de Bosque y Humedales y el Establecimiento y Consolidación de la Franja Protectora del Río Cauca. Informe Final; 2006. p. 65.
- Corporación Autónoma del Valle del Cauca-CVC. Mapas y Cartografía Temática del Valle del Cauca [Internet]. Mapas Cartogr. Temática Val. Cauca. s.f. [citado 20 Feb 2013]. Disponible en <http://geocvc.co/>
- Cotler H, Ortega-Larrocea MP. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. *Catena*. 2006;65:107-117. Doi: 10.1016/j.catena.2005.11.004.
- Espinal LS. Formaciones vegetales del departamento de Antioquía [Internet]. *Revista FNA Medellín*. 1964 [Citado 01 Oct 2014];24(60):1-81. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/29733/>
- Espírito-Santo MM, Sevilha AC, Anaya FC, Barbosa R, Fernandes GW, Sanchez-Azofeifa GA, *et al*. Sustainability of tropical dry forests: Two case studies in southeastern and central Brazil. *For Ecol Manage*. 2009;258:922-930. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.01.022.
- Fajardo L, Rodríguez JP, González V, Briceño-Linares JM. Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. *J Arid Environ*. 2013;88:236-243. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2012.08.009.
- García D. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*. 2011[citado 12 May 2014];20(2-3):1-10. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/18>.
- García-López JM, Allué C. Modelling phytoclimatic versatility as a large scale indicator of adaptive capacity to climate change in forest ecosystems. *Ecol Model*. 2011;222:1436-47.
- Giraldo MA. Spatial Scale and land use fragmentation in monitoring water processes in the Colombian Andes. *Appl Geogr*. 2012;34:395-402. Doi: 10.1016/j.ecolmodel.2011.02.001.
- Global Land Cover Facility-GLCF. GLCF: Global Land Survey (GLS) DEM [Internet]. 2008 [citado 14 Feb 2014]. Disponible en <http://glcf.umd.edu/data/glsdem/>
- González MA, García H, Corzo G, Madriñán S. Ecosistemas Terrestres de Colombia y el Mundo. In: Madriñán S, Sánchez JA, editors. *Biodiversidad, Conservación y Desarrollo*. Primera Edición. Bogotá D.C., Colombia: Universidad de los Andes. Ediciones Uniandes; 2012. p. 87-88.
- Hernández C, Hurtado G, Ortiz Q, Walschbulger C. Unidades biogeográficas de Colombia. In: Halffter G, editor. *La Diversidad Biológica de Iberoamérica*. 1a ed. Xalapa, México: Acta Zoológica Mexicana, Volumen especial; 1992. p.138.
- Herrera JM. El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas* [Internet]. 2011[citado 08 Dec 2013];20(2-3):21-34. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/20/14>.
- Holdridge LR. *Ecología basada en Zonas de Vida*. Quinta reimpresión. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; 2000. p. 216.
- IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, SINCHI, IIAP. *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia; 2007. p. 276.
- IDEAM. Metodología para la elaboración del Mapa de Ecosistemas escala 1:100.000 [Internet]. 2011 [citado 28 Dec 2014]. Disponible en https://www.siac.gov.co/documentos/Methodolgia_constru_mapa_ecosistemas_s%C3%ADntesis.doc.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt-IAvH. Aproximación al estado de conservación del bosque seco en Colombia [Internet]. 2013 [Citado 29 Nov 2013]. Available at: www.humboldt.org.co/iavh/component/k2/item/1403-aproximaci3n-al-estado-de-conservaci3n-del-bosque-seco-en-colombia.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt-IAvH. Bosques secos tropicales en Colombia [Internet]. 2014 [citado 19 Jan 2015]. Disponible en <http://humboldt.org.co/es/investigacion/proyectos/en-desarrollo/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia>
- Jiménez H. Anatomía del sistema de clasificación de Holdridge [Internet]. CATIE; 1980[Citado 01/06/2014]. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5519E/A5519E.PDF>.
- Miles L, Newton AC, Defries RS, Ravilious C, May I, Blyth S, *et al*. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *J Biogeogr*. 2006;33(3):491-505. Doi: 10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x.
- Montoya AM. Conformación del mapa de ecosistemas del Valle del Cauca empleando Sistemas de Información Geográfica. *Ventana Informática*. 2010;22:11-38.
- Murphy PG, Lugo AE. Ecology of Tropical Dry Forest. *Ann Rev Ecol Syst*. 1986;17:67-88.
- Palombo C, Chirici M, Marchetti M, Tognetti R. Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change? *Plant Biosyst*. 2013;147(1):1-11. Doi: 10.1080/11263504.2013.772081.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. Visor Geográfico de Parques Nacionales Naturales de Colombia [Internet]. s.f. [citado 12 Mar 2014]. Disponible en <http://mapas.parquesnacionales.gov.co/>

- Patiño VM. Historia de la vegetación natural y de sus componentes en la América Equinoccial. Cali: Imprenta Departamental; 1975. p. 83.
- Portillo-Quintero C, Sánchez-Azofeifa G. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biol Conserv.* 2010;143(1):144-155. Doi: 10.1016/j.biocon.2009.09.020.
- Powers JS, Becknell JM, Irving J, Pérez-Aviles D. Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. *For Ecol Manage.* 2009;258:959-970. Doi: 10.1016/j.foreco.2008.10.036.
- Putz FE, Romero C. Futures of Tropical Forests (*sensu lato*). *Biotropica.* 2014;46(4):495-505. Doi: 10.1111/btp.12124.
- Reina G. Una riqueza que se acaba. Periódico El Tiempo [Internet]. 1996 [Citado 22 may 2014]. Disponible en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-376743>.
- Reina-Rodríguez GA, Ospina-Calderón NH, Castaño A, Soriano I, Otero JO. Catálogo de orquídeas del Valle Geográfico del Río Cauca y su piedemonte andino bajo. Sur-Occidente Colombiano. *Cespedesia* [Internet]. 2010 [Citado 24 Jun 2013];32(90-91):7-22. Disponible en <http://www.docentes.unal.edu.co/jtoteroo/docs/2010%20CESPEDESIA%20No%2090%2091%20Guillermo%20A%20Reina.pdf>
- Ruiz V, Savé R, Herrera A. Multitemporal analysis of land use change in the Terrestrial Protected Landscape Miraflores Moropotente. Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas.* 2013;22(3):117-123. Doi: 10.7818/ECOS.2013.22-3.16.
- Sánchez-Azofeifa GA, Quesada M, Rodríguez JP, Nassar JM, Stoner KE, Castillo A, *et al.* Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica.* 2005;37(4):477-485. Doi:10.1111/j.1744-7429.2005.00066.x.
- Sánchez-Cuervo AM, Aide TM, Clark ML, Etter A. Land Cover Change in Colombia: Surprising Forest Recovery Trends between 2001 and 2010. *PLoS ONE.* 2012;7(8):e43943. Doi:10.1371/journal.pone.0043943.
- Scolozzi R, Morri E, Santolini R. Delphi-Based Change Assessment in Ecosystem Service Values to Support Strategic Spatial Planning in Italian Landscapes. *Ecol Indic.* 2012;21:134-144.
- Seimon TA, Seimon A, Daszak P, Halloy SRP, Schloegel LM, Aguilar CA, *et al.* Upward range extension of Andean anurans and chytridiomycosis to extreme elevations in response to tropical deglaciation. *Glob Change Biol.* 2007;13(1):288-99. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01278.x.
- Serrano Evers CC, Páez Ramírez A, Kolter Arrieta L. Situación de los páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático. [Internet]. Procuraduría General de la Nación, República de Colombia; 2008 Jun p. 17. Disponible en <http://fundacionecoan.org/Documentos/Eventos/libro4.pdf>
- Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, *et al.* Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science.* 2001;292:281-284. Doi: 10.1126/science.1057544.
- Torres AM, Adarve JB, Cárdenas M, Vargas JA, Londoño V, Rivera K, Home J, *et al.* Dinámica Sucesional de un fragmento de bosque seco tropical del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana.* 2012;13(2):66-85.
- Urbina-Cardona JN. Gradientes andinos en la diversidad y patrones de endemismo en anfibios y reptiles de Colombia: Posibles respuestas al cambio climático. *Rev Fac Cienc Básicas.* 2011;7(1):74-91.
- Vargas W. Los bosques secos del Valle del Cauca, Colombia: una aproximación a su flora actual. *Biota Colombiana.* 2012;13(2):102-164.
- Wright SJ, Muller-Landau HC. The Future of Tropical Forest Species. *Biotropica.* 2006;38(3):287-301. Doi: 10.1111/j.1744-7429.2006.00154.x.

