Áreas naturales de bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia: una oportunidad para la restauración

Natural areas of tropical dry forest in Valle del Cauca, Colombia: an opportunity for restoration

Diana P. Alvarado-Solano y Joel T. Otero-Ospina

Resumen

Una de las zonas de distribución potencial de bosque seco en Colombia es el valle geográfico del río Cauca. En esta zona la actividad agrícola intensiva ha sido uno de los principales factores de degradación desde mediados del siglo XX. En este estudio se reconocen las áreas naturales que han persistido en este valle entre 1984-2014 en el departamento del Valle del Cauca usando información cartográfica y satelital (Landsat TM5 y OLI). Los resultados señalan que pese a la reducción del 50 % en las áreas naturales a causa del aumento del 72 % de áreas cultivadas, el 26 % de aquellas ha persistido desde 1984, especialmente en el bosque cálido seco en planicie aluvial y en el bosque cálido seco en piedemonte aluvial, ecosistemas de los biomas helobioma del Valle del Cauca y del zonobioma alternohídrico tropical del Valle del Cauca, respectivamente. Las áreas naturales persistentes identificadas en el periodo de estudio representan una oportunidad para iniciar procesos de restauración ecológica y de monitoreo de la cobertura vegetal del bosque seco en el Valle del Cauca considerando que son pocos los remanentes que aún conservan características estructurales y funcionales propias de este bioma y las condiciones de conectividad entre estos son deficientes.

Palabras clave. Biomas. Clasificación supervisada. Coberturas naturales. Landsat. SIG.

Abstract

One of the potential distribution areas for tropical dry forest in Colombia is Cauca River Valley. Intensive agricultural activity in this zone has been one of the main factors causing its degradation since the middle of the 20th century. This study identifies and locates the natural areas that have persisted from 1984-2014 in the Cauca River Valley, in Valle del Cauca Department, using cartographic information and satellite images (Landsat TM5 and OLI). The results indicate that in spite of the 50 % reduction in natural areas due to a 72 % increase in cultivated areas, 26 % of them have persisted since 1984, especially in the dry warm forest of the alluvial plain and in the dry warm forest of the alluvial piedmont, ecosystems of the helobiome biomes of the Valle del Cauca and the tropical alternohydric zonobiome of Valle del Cauca, respectively. The persistent natural areas identified in the time frame represents an opportunity to initiate ecological restoration processes and monitoring of dry forest vegetation and its cover in Valle del Cauca, considering that few remnants still retain structural and functional characteristics of this Biome and the conditions of connectivity between them are deficient.

Key words. Biome. GIS. Landsat. Natural cover. Supervised classification.

Introducción

La pérdida y transformación de los ecosistemas es una realidad mundial, estos son reflejo de la interacción entre la sociedad y la naturaleza como producto de las formas de satisfacción de las necesidades humanas (Tang *et al.* 2012). En esta interacción los componentes del ecosistema, como el suelo y el agua, se ven alterados de forma irreversible con la pérdida de la cobertura boscosa generada por la expansión de actividades humanas como la agricultura, la urbanización y la industria (Alphan *et al.* 2009). Los efectos por la pérdida de la cobertura vegetal se pueden apreciar a diferentes escalas. Por un lado, afecta a las especies que habitan y dependen de dicha cobertura; estos efectos dependerán del área de distribución de la especie y de sus requerimientos de hábitat (Scolozzi y Geneletti 2012). Por otro lado, afecta la conectividad y continuidad entre ecosistemas a nivel de paisaje; este proceso es conocido como fragmentación (Armbrrecht y Ulloa-Chacón 1999, Herrerías y Benítez-Malvido 2005). La fragmentación altera procesos ecológicos como el ciclo de nutrientes, la productividad primaria y la complejidad de las redes tróficas (Laurance *et al.* 1999, Holdridge 2000, Su *et al.* 2012).

El estudio de la dinámica asociada a la transformación y pérdida de la cobertura boscosa, y la relación existente con los usos del suelo, es relevante para identificar y ajustar los instrumentos y estrategias para la administración y conservación de la biodiversidad y de los recursos naturales (Puyravaud 2003, Alphan *et al.* 2009), para lo que se debe tener presente la dinámica natural del ecosistema. El comportamiento de los ecosistemas está asociado a patrones de estructura y función que varían en el tiempo, especialmente cuando están sometidos a procesos de degradación (Tang *et al.* 2012). Por ello, el concepto de ecosistema boscoso o de bosque influye al momento de evaluar dichas dinámicas, sobre todo cuando se están estimando tasas de deforestación (Puyravaud 2003).

Las imágenes satelitales y los sistemas de información geográficos se han convertido en un insumo importante para estudiar la dinámica de las coberturas

vegetales (Tang *et al.* 2012, Gilani *et al.* 2015). Dentro de los métodos más usados por su practicidad está la comparación post-clasificación. Este método consiste en comparar mapas temáticos derivados de imágenes satelitales y adquiridos en dos fechas diferentes, donde la clasificación de cada imagen para obtener el mapa temático se ha realizado de forma independiente (Ahlqvist 2008, Armenteras *et al.* 2011). Las ventajas de este método se basan en la poca necesidad de efectuar calibraciones y correcciones atmosféricas, geométricas y radiométricas sobre las imágenes satelitales y la interpretación manual e intuitiva de las imágenes. El producto de la post-clasificación es una matriz de transición donde se registran los cambios de áreas ocurridos entre las clases o coberturas de suelo definidas para los mapas temáticos (Song *et al.* 2001, Ahlqvist 2008, Abd El-Kawy *et al.* 2011). Para ello, las clases temáticas o etiquetas de las coberturas o categorías de uso del suelo que serán comparadas deben guardar coherencia entre sí (Ahlqvist 2008).

Una de las fuentes de información más usadas en estos casos son las imágenes satelitales adquiridas por el Programa Landsat (Gilani *et al.* 2015). La resolución espacial (30 m tamaño del pixel para Landsat 4, 5, 7 y 8), el tamaño de cada escena (185 x 185 km), el acceso público de los datos (Miller *et al.* 2013), la continuidad del Programa (Loveland y Dwyer 2012) y la posibilidad de recuperar información hasta de 30 años atrás en el pasado (Sexton *et al.* 2013) permiten un amplio rango de aplicaciones, entre los que se destaca el desarrollo de estudios semidetallados a escala regional. Las imágenes Landsat han sido un insumo importante para la clasificación y monitoreo de coberturas y usos del suelo (Miller *et al.* 2013), para llevar a cabo análisis multitemporales (Araque y Jiménez 2009), detectar cambios de cobertura aplicando diferentes algoritmos y esquemas de clasificación (Roy *et al.* 2014, Zhu y Woodcock, 2014), también en la discriminación de diferentes tipos de bosques y etapas de sucesión secundaria (Sesnie *et al.* 2008), monitoreo de suelos agrícolas abandonados (Prishchepov *et al.* 2012), establecer correlaciones y predecir la diversidad de especies

de grupos como las aves, mariposas y plantas no cultivadas, basándose en la heterogeneidad espectral de ambientes agrícolas (Duro *et al.* 2014), entre otros.

Los ecosistemas tropicales han sido los más afectados por procesos de degradación debido a la fragmentación (Giraldo 2012). En el caso del bosque seco tropical (BsT), aunque representaba el 75 % de la cobertura boscosa de los trópicos (Fajardo *et al.* 2013), desde que Murphy y Lugo en 1986 lo reconocieron como uno de los más afectados por la deforestación y también como el menos protegido (Fajardo *et al.* 2013), se han adelantado diferentes iniciativas para cuantificar el estado de su cobertura a escala mundial (Miles *et al.* 2006, Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010), nacional (Etter 1993, Márquez 2000, Sánchez-Cuervo *et al.* 2012, García *et al.* 2014) y regional (Arcila *et al.* 2012, Alvarado-Solano y Otero 2015a). Sin embargo, las cifras dependen del concepto de BsT que se esté manejando (Miles *et al.* 2006, Alvarado-Solano y Otero 2015a). Por ejemplo, cuando Miles *et al.* (2006) estimaron un área remanente de 1.048.700 km² a nivel mundial, incluyeron en el análisis los biomas bosques tropicales y subtropicales de hoja ancha, bosques mediterráneos y sabanas y matorrales del mapa de ecorregiones de WWF elaborado por Olson (2011). Los diferentes estudios reconocen que el alto grado de fragmentación en las áreas de distribución natural de BsT es porque éstas posibilitaron el desarrollo urbano y las actividades agrícolas gracias a la alta fertilidad de sus suelos y su clima favorable (Wright y Muller-Landau 2006, Espírito-Santo *et al.* 2009).

El BsT de Colombia se encuentra reducido y altamente fragmentado. Se estima que de 800.000 km² que representaban la cobertura original en el país, para el año 2000 quedaba cerca del 1,5 % (Márquez 2000), para el 2010 un 3 % (Barraza *et al.* 2010) y para el 2014, un 8 % (García *et al.* 2014). Estas estadísticas podrían interpretarse como procesos de recuperación de la cobertura de este bioma. Por ejemplo, Márquez (2000) evaluó la sostenibilidad de los ecosistemas de Colombia

en una escala 1:1.500.000 empleando entre otros, el Mapa de Biomas por Etter (1993) asimilando el concepto de Bioma al de Tipo de Ecosistema, aunque la definición no es explícita. Por su parte, Barraza *et al.* (2010) al estudiar los escarabajos coprófagos en Bahía Concha – Santa Marta (Colombia) aplicaron el concepto de bosque seco del IAvH (1998), el cual lo define basado en criterios altitudinales (0-1.000 m s.n.m.), de temperatura (> 24 °C) y de precipitación (700 – 2.000 mm/año), aunque la escala empleada para cuantificar las áreas remanentes no se especifica en el documento. Por otro lado, García *et al.* (2014) estimaron la cobertura de BsT con mapas a escala 1:100.000. Es así como las estimaciones de la extensión de este bioma dependerán de la definición y escala utilizada (Alvarado-Solano y Otero 2015a).

Aunque hay estudios sobre la dinámica de los cambios del suelo en los Andes colombianos (Rodríguez *et al.* 2013), sobre procesos de deforestación a escala nacional (Armenteras *et al.* 2011, 2013, Sánchez-Cuervo *et al.* 2012), y sobre los efectos del grado de fragmentación sobre el monitoreo de procesos hídricos (Giraldo 2012), los procesos de deterioro y fragmentación han sido poco analizados en Colombia, y no los hay para bosques secos, lo que conlleva a desconocer la evolución y dinámica de los cambios (Rudas *et al.* 2007).

Algunos de estos estudios se han enfocado en los bosques bajos de la Amazonía (Etter *et al.* 2006) y los bosques montanos primarios (Cavelier y Etter 1995), especialmente por la importancia que representan como reservorio para la biodiversidad y para la producción del recurso hídrico. Más recientemente, Colombia ha cuantificado la superficie de bosque natural y las tasas de deforestación a nivel nacional como parte de los compromisos adquiridos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, para la implementación del mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación – REDD+ (Galindo *et al.* 2014). Aunque la deforestación registrada corresponde a 120.934 hectáreas con una tasa anual de cambio de -0,21 % para el periodo 2012-2013 (Galindo *et al.* 2014) es posible que la cobertura

boscosa se recupere bajo un escenario de economía industrializada y de estabilización de la frontera agrícola (Etter y Arévalo 2014). Sin embargo, para el caso específico del bosque seco, no se han adelantado estudios que permitan conocer la evolución y dinámica de sus cambios (Rudas *et al.* 2007).

Para el emprendimiento de estrategias de restauración y conservación de las formaciones vegetales asociadas al BsT se requiere generar información que evidencie y reconozca el efecto de las actividades humanas sobre sus condiciones específicas; sin embargo, para este bioma se encuentra en una etapa inicial (Sánchez-Azofeifa *et al.* 2005). La situación es más delicada ya que la información base se encuentra dispersa (Yepes y Villa 2010) y se ha venido estudiando el efecto de la fragmentación a escala de organismos, tanto de flora (Ruíz y Fandiño 2007, Bonilla *et al.* 2008, Ruíz y Fandiño 2009, Yepes y Villa 2010, Reina-Rodríguez *et al.* 2010, Gómez-Mosquera y Macías-Pinto 2012, Torres *et al.* 2012); como de fauna, como por ejemplo, hormigas (Armbrecht y Ulloa-Chacón 1999, Ramírez y Enríquez 2003, Fontalvo-Rodríguez y Solís-Medina 2009), reptiles (Carvajal-Cogollo y Urbina-Cardona 2008), mamíferos como el oso perezoso (Ballesteros *et al.* 2009, Sampedro-Marín *et al.* 2011) y primates (Galván-Guevara *et al.* 2009), aves (Strewe *et al.* 2009), escarabajos (Barraza *et al.* 2010), mariposas (Gaviria-Ortiz y Henao-Bañol 2011) y murciélagos (Vela-Vargas y Pérez-Torres 2012).

En el contexto regional, en el valle geográfico del río Cauca (VGRC) se localiza el área de distribución potencial del BsT (Reina-Rodríguez *et al.* 2010). En esta región, la reducción drástica de las coberturas boscosas asociadas al bioma BsT ocurrió entre la década de los 50's y mediados de la década de los años 80's del siglo XX por la intensificación de la actividad agrícola (Armbrecht y Ulloa-Chacón 1999, Arcila *et al.* 2012). De allí que en estudios de cambios de cobertura y usos del suelo a escala nacional no sea reportado bosque seco para el Valle del Cauca, aunque sí para el valle del río Magdalena, valle del río Sinú, y en Apure-Villavicencio (Sánchez-Cuervo *et al.* 2012). Esto ha llevado a catalogar el departamento como la

región con la menor extensión de bosque seco y aquel en donde éste presenta la mayor vulnerabilidad de todo el país (Arcila *et al.* 2012).

En el VGRC se han adelantado estudios para estimar el área remanente del bosque seco (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010, Arcila *et al.* 2012). En estos trabajos se ha utilizado información cartográfica y satelital para cuantificar la cobertura vegetal y boscosa asociada al bioma, sin embargo, no se ve reflejada la dinámica de los cambios, y lo más importante, si es posible encontrar otro tipo de coberturas naturales diferentes a las cultivadas o boscosas. En este sentido, el propósito de este trabajo fue identificar áreas naturales asociadas al área de distribución potencial del bioma bosque seco tropical en el departamento del Valle del Cauca, principalmente aquellas que han persistido en el periodo 1984-2014, aportando así elementos para la toma de decisiones respecto a áreas potenciales para la restauración.

Material y métodos

Área de estudio

En el departamento del Valle del Cauca, localizado entre los 3°44'11.82" N-76°24'46,02" O (esquina superior izquierda) y 3°41'56,85" N-76°22'14,30" O (esquina inferior derecha) (Parra y Hernández 2010), se encuentra el área de distribución potencial del bosque seco tropical, específicamente sobre el valle geográfico del río Cauca, que cubre toda la zona plana y parte del piedemonte de la vertiente oriental de la cordillera Occidental y la vertiente occidental de la cordillera Central (Reina-Rodríguez *et al.* 2010, Arcila *et al.* 2012, Vargas 2012). Esta región comprende los biomas regionales Zonobioma Alternohigróico Tropical del Valle del Cauca - ZAHTVC y el Helobioma del Valle del Cauca - HVC (Figura 1) (CVC y Funagua 2010). El rango altitudinal del área de estudio (ZAHTVC+HVC) se encuentra entre los 892 y 1695 m s.n.m. (Alvarado-Solano y Otero 2015a, Locklin s.f. en: <http://www.worldwildlife.org/ecoregions/nt0207>), y cubre una extensión de 350.959 ha (Tabla 1).

Figura 1. Ubicación general del área de estudio.

Tabla 1. Biomas y ecosistemas presentes en el área de estudio. Fuente: CVC y Funagua (2010).

Bioma	Ecosistema	Código	Área (ha)
HVC	Bosque cálido húmedo en planicie aluvial	BOCHURA	7.146,22
	Bosque cálido seco en planicie aluvial	BOCSERA	67.350,74
	Bosque inundable cálido seco en planicie aluvial	BICSERA	5.253,87
ZAHtVC	Arbustales y matorrales cálido seco en piedemonte aluvial	AMCSEPA	16.990,42
	Arbustales y matorrales medio húmedo en piedemonte coluvio-aluvial	AMMHUPX	9.196,43
	Bosque cálido húmedo en piedemonte coluvio-aluvial	BOCHUPX	20.281,29
	Bosque cálido seco en lomerio fluvio-lacustre	BOCSELF	18.949,61
	Bosque cálido seco en piedemonte aluvial	BOCSEPA	158.465,58
	Bosque cálido seco en piedemonte coluvio-aluvial	BOCSEPX	47.325,66
Total			350.959,83

En términos generales, el departamento tiene una población de 4.520.480 habitantes, es el tercero más poblado a nivel nacional y contribuye de manera importante al Producto Interno Bruto (PIB) del país a través del sector de servicios, manufactura y agroindustria. Allí se concentra el 71 % de los ingenios azucareros del país y estos son responsables de la mayor parte del azúcar producido en Colombia. La presencia tan marcada de la agroindustria de la caña de azúcar se ve reflejada en el uso del suelo, pues el 79,5 % de la tierra de uso agrícola se destinó a este cultivo en el 2012, lo que en términos de producción agrícola representó el 96,68 % de los cultivos permanentes para ese año (Gobernación del Valle del Cauca s.f. en: <http://anuarioestadisticovalle.comli.com/>).

El proceso de transformación de la vegetación natural asociada al bosque seco tropical en el departamento inició a principios del siglo XVI con la llegada de los españoles a América. Patiño (1975) expone este proceso como una acción sistemática de erradicación de prácticas paganas de los pueblos indígenas por parte de sacerdotes y misioneros españoles, quienes poseían otras prácticas culturales y religiosas. En los bosques se encontraban los árboles sagrados de los pueblos indígenas, por lo tanto, adoraban al árbol, y desde la perspectiva de los recién llegados, dicha práctica era considerada como idolatría. Posteriormente, la extracción de especies arbóreas y otras especies vegetales fue producto de la demanda del mercado europeo de medicinas y madera, la introducción de ganado y del cultivo de la caña de azúcar que requerían extensiones considerables de terreno, y finalmente, la adecuación y ampliación de vías de comunicación. La deforestación ocurrió desde el siglo XVI hasta el siglo XIX, sin embargo, el proceso de transformación se intensificó a partir de la segunda mitad del siglo XX, principalmente por la expansión de la agroindustria, la disminución de áreas destinadas para ganadería y el crecimiento urbano (Márquez 2001; citado por Rivera *et al.* 2006).

Fuente de datos

Para la identificación de áreas naturales se empleó información cartográfica y satelital, como los mapas

temáticos de ecosistemas y de cobertura del suelo en formato vectorial, producidos en el año 2010 a escala 1:100.000 por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). A partir del mapa de ecosistemas se delimitó el área de estudio (ZAHTVC y HVC), y el mapa de cobertura del suelo se utilizó para identificar las características espectrales de los polígonos de las áreas naturales y seminaturales sobre las imágenes satelitales. La información satelital corresponde a imágenes Landsat, previusualizadas y descargadas del portal Glovis (<http://glovis.usgs.gov>) que es administrado por la United States of Geological Survey (USGS) y el Earth Resources Observation and Science Center (EROS). Fueron preseleccionadas 58 imágenes de la escena 9-57 y 38 imágenes de la escena 9-58 que cubren el área de estudio, para el periodo 1980-2014 y con una cobertura de nubes menor al 60 %. Las imágenes Landsat poseen una resolución espacial de 30 m y son de Nivel 1T, esto quiere decir que su formato de salida es GeoTiff, la técnica de muestreo empleada es la convolución cúbica, poseen exactitud sistemática, radiométrica y geométrica (Miller *et al.* 2013). En una etapa intermedia, se seleccionaron 23 pares de imágenes (9-57 y 9-58) de los años 1984, 1986-1989, 1991, 1997-2014 a partir de la correspondencia de las fechas de adquisición por el satélite, reduciendo así la variabilidad de los valores digitales de los píxeles.

Preparación de la información

Para la selección final de imágenes a ser utilizadas en la identificación de coberturas, se empleó la combinación de bandas 4-5-3 de las imágenes obtenidas por el sensor TM y TM⁺, así como una combinación de bandas 5-6-4 para las imágenes del sensor OLI, pues resaltan espectralmente atributos de la imagen que de otra manera no sería posible observar (EEA 1994, Ideam *et al.* 2007, 2008). Las imágenes fueron procesadas en 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. Una vez seleccionadas las bandas se procedió a componer una nueva imagen mediante el procedimiento de

Composición de Bandas. Luego, las imágenes de las escenas 9-57 y 9-58 de la misma fecha de adquisición se procesaron para obtener un mosaico que permitiera cubrir la totalidad del área de estudio. El área de estudio delimitada a partir del mapa de ecosistemas se empleó como máscara para recortar los mosaicos obtenidos anteriormente. La información cartográfica y satelital fue proyectada al Sistema de Coordenadas WGS1984 Zona UTM 18N. Dada la persistencia de nubes, la discontinuidad temporal en la captura de la información satelital y la pérdida del 20 % de datos en imágenes adquiridas por el sensor ETM⁺ por fallas presentadas en el instrumento Scan Line Corrector (SLC) desde mayo de 2003 (Abd El-Kawy *et al.* 2011), las imágenes con menor cobertura de nubes y separadas por intervalos de tiempo similares, fueron las mejores imágenes para desarrollar este trabajo. La información satelital seleccionada consistió de dos imágenes satelitales Landsat TM5 (Thematic Mapper) y una imagen Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) (Tabla 2).

Clasificación de imágenes satelitales

Los mosaicos de imágenes satelitales ajustados para el área de estudio de los años 1984, 1998 y 2014, fueron procesados en el módulo de Spatial Analyst de ArcGis® 10.2 for Desktop para obtener los mapas temáticos de cobertura del suelo, haciendo especial

énfasis en la identificación de áreas naturales, aunque también se incluyeron en el análisis coberturas definidas de forma genérica como áreas cultivadas, áreas construidas, cuerpos de agua, nubes y sombras de nubes. Primero, en el módulo *Image Classification* se construyó la firma espectral para cada tipo de cobertura definiendo las áreas de entrenamiento necesarias para recopilar la información espectral de cada pixel que se encuentra grabada en cada banda utilizada para componer la imagen (Abd El-Kawy *et al.* 2011). Para las áreas naturales se identificaron de forma preliminar las características espectrales de los polígonos que representan la categoría de coberturas naturales y seminaturales del mapa de cobertura del suelo de la CVC. Luego, se trazaron polígonos sobre pixeles que presentaban características espectrales similares a lo largo de cada mosaico, se identificaron sus coordenadas y se pasó a verificar en la plataforma Google Earth si efectivamente correspondían a áreas naturales. El uso de información satelital auxiliar de mayor resolución es común para ser usada como verdad de terreno (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010).

En la categoría de áreas naturales se incluyeron, además de los bosques de galería y los fragmentos inmersos en los cultivos de caña de azúcar, la cobertura vegetal localizada en piedemonte y en áreas de cultivo aparentemente abandonadas. Adicionalmente, fue

Tabla 2. Imágenes Landsat utilizadas en la identificación de coberturas del suelo.

Año	Imágenes satelitales	Satélite / sensor	Fecha adquisición/ época climática	Bandas	Resolución espectral (µm)	Cobertura nubes (%)
1984	LT50090571984246AAA03	LANDSAT 5 TM	02/09/1984 - Transición Seca -Lluvias	3	0,63- 0,69	40
	4			0,76-0,90	40	
	5			1,55-1,76		
1998	LT50090571998140XXX02	LANDSAT 5 TM	20/05/1998 - Lluvias	3	0,63- 0,69	10
	4			0,76-0,90	20	
	5			1,55-1,76		
2014	LC80090572014200LGN00	LANDSAT 8 OLI	19/07/2014 - Seca	4	0,63-0,68	40
	5			0,85-0,89	44	
	6			1,56-1,66		

necesario identificar otras categorías de coberturas y construir su respectiva firma espectral para efectos de los análisis posteriores, especialmente al momento de evaluar la exactitud de la clasificación y evidenciar la dinámica de los cambios.

Las áreas cultivadas se diferenciaron de acuerdo a la composición en color de la imagen, reflejando diferentes estados de desarrollo del cultivo de caña de azúcar. En el caso de la Laguna de Sonso, su respuesta espectral en las imágenes de 1998 y 2014 fue diferente al de 1984 y diferente a otros cuerpos de agua (por la acumulación de materia orgánica y sedimentos), de allí que fuera necesario incluirla como una categoría de cobertura y recolectar su información espectral en áreas de entrenamiento específicas para cada año estudiado. La categoría de otras coberturas incluye áreas en quema, áreas donde se dificultó visualmente la identificación del tipo de cobertura, y áreas cuyas

características de color diferían de las demás, y que podrían tratarse de otro tipo de cultivos (Tabla 3).

Posteriormente, las firmas espectrales construidas para cada tipo de cobertura fueron introducidas en el algoritmo de *maximum likelihood* en un procedimiento de clasificación supervisada para imágenes multiespectrales, obteniendo así los mapas temáticos de áreas naturales para los años 1984, 1998 y 2014. Para facilitar el proceso de identificación de áreas naturales y errores de clasificación, las diferentes categorías de áreas cultivadas (1-5) fueron reclasificadas únicamente como áreas cultivadas, y la categoría de Laguna de Sonso fue reclasificada en la categoría de cuerpos de agua. Finalmente se aplicó filtro mayoritario para eliminar el ruido por píxeles clasificados erróneamente, excluyendo así áreas menores a la Unidad Mínima de Mapeo (UNM) equivalente a 1 ha (3 x 3 píxeles) (Gilani *et al.* 2015).

Tabla 3. Categorías de uso del suelo identificadas en el proceso de clasificación de las imágenes satelitales.

Cobertura del suelo	1984		1998		2014	
	Valor ID	Áreas entrenamiento (Cantidad)	Valor ID	Áreas entrenamiento (Cantidad)	Valor ID	Áreas entrenamiento (Cantidad)
Áreas naturales	1	300	236	696	1	839
Áreas cultivadas 1	2	200	1	152	2	100
Áreas cultivadas 2	3	260	2	159	3	133
Áreas cultivadas 3	4	228	3	201	4	100
Áreas cultivadas 4	--	--	4	98	5	65
Áreas cultivadas 5	--	--	5	114	6	124
Áreas construidas	5	188	6	70	7	44
Cuerpos de agua	6	200	76	65	8	53
Laguna de Sonso	--	--	141	6	9	5
Otras coberturas	7	86	147	33	10	164
Nubes	8	187	180	30	11	35
Sombras de nubes	9	162	210	23	12	30

Evaluación de exactitud de clasificación

Los mapas temáticos obtenidos para los años 1984, 1998 y 2014 fueron evaluados en términos de la exactitud de la clasificación ejecutada. Para ello se identificaron y evaluaron los errores que se presentasen durante el procesamiento al comparar los resultados con datos de referencia (Congalton 2001, McRoberts *et al.* 2010, Abd El-Kawy *et al.* 2011). La unidad de muestreo (UM) fue el pixel, por ser una unidad definida en la imagen y tener un tamaño uniforme (Foody 2009, McRoberts *et al.* 2010). La evaluación de exactitud se basó en un muestreo aleatorio simple empleando 385 unidades de muestreo para 1984 y 1998, y para el mapa temático de 2014 se muestrearon 384 unidades.

De acuerdo al total de píxeles que conformaban cada imagen (3.899.597 píxeles) se obtuvo un tamaño de muestras de 385 píxeles aplicando la ecuación (1), donde n corresponde al tamaño de la muestra, Z es el valor de Z a nivel de confianza de 95 % (1,96), e es el margen de error (5 %) y p es la probabilidad (50 %). Esta fórmula es empleada cuando el tamaño de la población es mayor a 100.000 unidades (Boca y Rodríguez s.f.). El valor obtenido es aceptable teniendo en cuenta que se recomienda un tamaño mínimo de 50 muestras por clase (Congalton 2001). Los puntos aleatorios fueron extraídos de cada imagen a través de la herramienta de creación de puntos aleatorios de la caja de herramientas de ArcGIS 10.2, cuya base es el polígono del área de estudio y el producto es una entidad de puntos.

$$n = \frac{z^2 p (1-p)}{e^2} \quad (1)$$

Para cada UM se extrajo la información relacionada con el tipo de cobertura del mapa temático vs. el tipo de cobertura de la información de referencia (imágenes Landsat sin procesar, información cartográfica y Google Earth) (Congalton 2001, Nahuelhual *et al.* 2012, Boca y Rodríguez s.f.). Este proceso se repitió para los tres años. La información asociada a cada UM fue registrada en la tabla de atributos del *shapefile* de las UM de cada año, siendo esta la clase

temática a la que pertenece ese punto, en términos de la verdad de terreno o valor de referencia. Luego, en el módulo de *Spatial Analyst* fueron extraídos los valores de campo referentes al código de cobertura que fue asignado en cada mapa temático donde se superponen los puntos creados aleatoriamente. A través de la herramienta de tabla pivote de la caja de herramientas de administración de datos, se organizaron las frecuencias entre el valor de campo de la referencia y de la clasificación, obteniendo así la matriz de confusión.

A partir de la matriz se calculó la exactitud del usuario, la exactitud del productor, la exactitud global y el Índice Kappa. La exactitud global expresa el número de unidades de muestreo que fueron clasificadas correctamente respecto al total de la muestra, los valores oscilan entre 0 y 1 y es considerada una estadística descriptiva (Congalton 2001). El índice Kappa se calcula por la ecuación (2), donde i representa la dimensión de la matriz (número de clases), a_{ii} es el número de observaciones en la línea i - columna i , $a_{i.}$ es el total marginal de línea i y de columna i , y n es el número total de observaciones. Este índice mide la diferencia entre la exactitud de la clasificación y la probabilidad de obtener la misma exactitud con una clasificación correcta (Boca y Rodríguez s.f.), se considera una estadística multivariada discreta, y sus valores oscilan entre -1 y +1, donde valores mayores a 0.8 representan fuerte relación, valores entre 0.4 a 0.8 representan concordancia moderada, y valores debajo de 0.4 representan poca relación (Congalton 2001). Aunque otros como Monserud y Leemans (1992) proponen las siguientes categorías: < 0,4 representan pobre o muy poca concordancia; valores entre 0,4 – 0,55 representan concordancia aceptable; 0,55 – 0,7 representan buena concordancia; valores entre 0,7 – 0,85 representan muy buena concordancia; y valores mayores a 0,85 representan excelente concordancia entre imágenes (Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2012).

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^l a_{ii} - \sum_{i=1}^l (a_{i.} a_{.i})}{n^2 - \sum_{i=1}^l (a_{i.} a_{.i})} \quad (2)$$

Áreas naturales persistentes

Las áreas naturales persistentes en el área de estudio durante el periodo 1984-2014 fueron identificadas a partir de los mapas temáticos de coberturas obtenidos y de los cambios ocurridos en el tiempo. Para este propósito se efectúa una comparación post-clasificación donde los mapas temáticos de cada año se contrastan para evidenciar cambios; este enfoque es de los más usados cuando se trata de imágenes con una resolución espacial como Landsat (McRoberts *et al.* 2010).

Las transiciones entre coberturas y las áreas que permanecen sin cambios son observadas mediante tabulación cruzada (Tang *et al.* 2012). En esta investigación fueron calculadas las matrices de transición de coberturas para los periodos 1984-1998 y 1998-2014 a partir de la herramienta de área tabulada del módulo de *Spatial Analyst* de ArcGIS 10.2. Se calculó la tasa anual de cambio para las áreas naturales asociadas al área de estudio (r) a partir de la ecuación (3) propuesta por Puyravaud (2003), donde t_2 y t_1 son el año final e inicial respectivamente, A_2 corresponde al área final y A_1 al área inicial. Finalmente fueron extraídos los píxeles de la categoría áreas naturales de los mapas temáticos de los años 1984, 1998 y 2014, y mediante una operación de diferencia en álgebra de

mapas, se identificaron los píxeles que representan áreas naturales que han persistido durante el periodo de estudio.

$$r = \frac{1}{(t^2 - t^1)} \times \ln \frac{A_2}{A_1} \quad (3)$$

Resultados

Exactitud de clasificación supervisada de las imágenes satelitales

Dadas las similitudes y diferencias entre las firmas espectrales construidas para cada tipo de cobertura, la exactitud global de clasificación y el Kappa obtenidos fueron de 77,92 % y 0,64 para 1984; 80,26 % y 0,70 para 1998; 84,38 % y 0,76 para 2014. Para el caso específico de las áreas naturales y las áreas cultivadas, la exactitud de usuario obtenida es superior al 80 % (Tabla 4) garantizando así la calidad de los análisis posteriores (Mas *et al.* 2010), especialmente para evidenciar la dinámica de los cambios entre este par de coberturas. Por el contrario, el bajo nivel de exactitud en la clasificación de los píxeles de áreas construidas, otras coberturas y cuerpos de agua incide en la calidad final y en la exactitud global de los mapas temáticos obtenidos.

Tabla 4. Evaluación de exactitud de mapa temático de 1984, 1998 y 2014.

Clase cobertura	Exactitud usuario (%) 1984	Exactitud usuario (%) 1988	Exactitud usuario (%) 2014
Áreas naturales	81,10	90,08	95,35
Áreas cultivadas	89,74	85,71	84,58
Áreas construidas	26,67	61,11	68,42
Cuerpos de agua	100,00	27,27	71,43
Otras coberturas	25,00	61,11	82,00
Nubes	90,91	0,00	0,00
Sombras de nubes	50,00	--	--

Cambios de cobertura de áreas naturales

Todas las coberturas (áreas naturales, áreas cultivadas, áreas construidas, cuerpos de agua y otras coberturas) muestran cambios en el periodo de estudio (Tabla 5). En el caso particular de las áreas naturales se observa una reducción cercana al 50 %, proceso asociado al aumento de las áreas cultivadas. Esta reducción es diferente para los subperiodos 1984-1998 y 1998-2014. En el primero la reducción de las áreas naturales fue del 13 % y en el segundo fue del 41 %; mientras que el aumento de áreas cultivadas para el primer subperiodo fue del 15 % y para el segundo fue del 21 %. Cuando se revisa la dinámica de la categoría otras coberturas, se observa una cifra supremamente alta, pues entre 1984 y 1998 aumentó su extensión en un 365 % mientras que entre 1998 y 2014 este incremento fue del 113 %. Es importante recordar que esta categoría incluye también áreas cultivadas que por sus características espectrales fueron clasificadas en forma separada.

Así mismo, la fluctuación en el tamaño de áreas construidas puede estar relacionada con errores generados en el proceso de clasificación de las

imágenes para cada año evaluado. En el caso específico de cuerpos de agua, además de lo anterior, otros factores que explicarían el fenómeno son las variaciones en los niveles del agua (las imágenes satelitales empleadas corresponden a diferentes periodos climáticos). Aunque esto es poco probable porque durante la inspección visual de las imágenes para construir la firma espectral de esta categoría, algunos pixeles habían cambiado de categoría, específicamente hacia cultivos.

A partir de la matriz de transición se pudo construir un diagrama donde se observa la dinámica de cambio ocurrido entre las áreas naturales y los otros tipos de coberturas (Alphan 2009). Las transiciones de coberturas para los periodos 1984-1998 y 1998-2014 presentan similitudes, especialmente para el caso de las transiciones ocurridas entre áreas naturales – áreas construidas, áreas naturales – otras coberturas, áreas naturales – áreas cultivadas. Para el primer periodo (Figura 2a), alrededor del 60 % de las áreas naturales permanecieron sin cambios. Las mayores pérdidas y ganancias se presentan en relación con las áreas cultivadas y otras coberturas, mostrando una

Tabla 5. Áreas de las diferentes coberturas identificadas en el área de estudio para el periodo 1984-2014.

Cobertura	1984		1988		2014	
	Área (ha)	Proporción (%)	Área (ha)	Proporción (%)	Área (ha)	Proporción (%)
Áreas naturales	154.777,57	44,10	134.463,00	38,31	78.951,62	22,50
Áreas cultivadas	137.573,81	39,20	159.260,07	45,38	192.788,45	54,93
Áreas construidas	41.366,14	11,79	26.211,75	7,47	31.257,67	8,91
Cuerpos de agua	4.256,80	1,21	7.192,99	2,05	3.572,45	1,02
Otras coberturas	4.237,43	1,21	19.698,28	5,61	41.888,78	11,94
Nubes	5.744,10	1,64	3.190,75	0,91	1.541,17	0,44
Sombras nubes	3003,98	0,86	942,99	0,27	959,70	0,27
Total	350.959,83	100	350.959,83	100	350.959,83	100

dinámica importante entre estas categorías. Para el segundo periodo (Figura 2b), permaneció el 68 % de las áreas naturales de aquellas que habían persistido en el periodo anterior. Sin embargo, entre 1998 y 2014 las áreas naturales transformadas hacia áreas cultivadas y otras coberturas aumentó reflejando cualitativamente un aumento en la transformación ocurrida en este lapso de tiempo.

El esquema de transiciones también está reflejando los errores presentados por el algoritmo de clasificación de las imágenes satelitales, específicamente en los cambios entre áreas construidas y áreas naturales. Si bien es cierto que es más probable que una zona

con vegetación sea convertida en área construida, es menos probable que un área construida se transforme en área natural. Al respecto, durante inspección visual se evidenció que algunos píxeles de áreas naturales fueron clasificados como áreas construidas, lo que puede estar asociado a procesos erosivos observados en algunas zonas de piedemonte, influyendo así que su respuesta espectral fuera similar al de áreas construidas. Sin embargo, la reducción de la tendencia de cambio desde las áreas construidas hacia las áreas naturales puede estar evidenciando que estos procesos erosivos son persistentes y por lo tanto, con el transcurso del tiempo estas zonas no puedan recuperarse sin intervención técnica.

a) Periodo 1984 – 1998

b) Periodo 1998 – 2014

Figura 2. Transiciones entre diferentes categorías de coberturas del suelo.

Tasa de transformación de áreas naturales

A partir de las áreas totales obtenidas para cada año se calculó la tasa anual de cambio de las áreas naturales asociadas a la zona de distribución potencial del bioma BsT en el Valle del Cauca. La tasa de transformación para el periodo 1984-1998 fue de $-1 \text{ \% año}^{-1}$, mientras que para el periodo 1998-2014 fue de $-3,33 \text{ \% año}^{-1}$. Estos valores fueron reportados erróneamente en Alvarado-Solano y Otero (2015b) al no reflejar la tasa en términos de porcentaje aunque las unidades así lo hicieren. Los resultados obtenidos evidencian que la reducción en la cobertura de las áreas naturales se concentró en los últimos 16 años, donde se triplicó la tasa de transformación de áreas naturales hacia áreas cultivadas.

Sin embargo, estos resultados no brindan un panorama detallado respecto a la localización de las mayores transformaciones. Es así que con el propósito de identificar las zonas que presentaron mayor o menor tasa de transformación, se efectuaron cálculos adicionales tomando como criterio de unidad de análisis los ecosistemas que componen los biomas ZAHTVC y HVC. Para cada ecosistema se determinó la cobertura de áreas naturales por año (Figura 3) y a partir de ésta se calculó la tasa de transformación específica (Figura 4). De este análisis se obtuvo

que los ecosistemas en los cuales fue más notoria la reducción de las áreas naturales fueron BOCSEPX, BOCSEPA y AMCSEPA del bioma ZAHTVC, y BOCSERA del bioma HVC, y que ya presentaban una cobertura de áreas naturales baja al inicio del periodo de estudio comparado con el área total del ecosistema.

El primero se localiza en el piedemonte de la cordillera Occidental desde el centro hasta el sur del área de estudio, el segundo está en la parte norte y muy cerca de la influencia del río Cauca, el tercero se encuentra a lo largo del valle geográfico, el cuarto se ubica en la porción central del sur del departamento y muy cerca al río Cauca, y el último corresponde al área de influencia del río Cauca. Respecto a la proporción de las áreas de cada ecosistema frente al área total del área de estudio BOCSEPX posee el 13 %; BOCSEPA el 45 %; AMCSEPA el 5 % de esta región y BOCSERA cubre el 19 %. BOCSEPX inició el periodo de estudio con el 64,5 % de su área total con áreas naturales, y finalizó el 2014 con el 29,31 %, es decir, una reducción del 54 %; BOCSEPA presentó una reducción total del 45 % y AMCSEPA una disminución del 73 % de su área natural en el periodo de estudio, siendo este último el más alto del bioma ZAHTVC. En el caso de los ecosistemas del bioma

Figura 3. Cambios en cobertura de áreas naturales entre 1984 y 2014 en los ecosistemas presentes en el área de estudio.

Figura 4. Tasa de transformación de áreas naturales por ecosistema.

HVC en BOCSERA la reducción fue mayor, siendo esta del 63 %.

La tasa de transformación por ecosistema (Figura 4) presenta dinámicas diferentes. Los valores más altos se localizaron en los ecosistemas BOCSEPX, BOCSEPA y AMCSEPA del bioma ZAHTVC y BOCSERA del bioma HVC. Adicionalmente, resalta el ecosistema BOCSELF como un ecosistema del ZAHTVC donde la tasa de transformación aumentó en el periodo 1998-2014. Por otro lado se observa una dinámica importante de recuperación de áreas naturales en los ecosistemas BOCHURA y BICSERA del bioma HVC, y AMMHUPX del ZAHTVC, en los cuales la tasa de transformación entre 1984-1998 y 1998-2014 disminuyó.

Áreas Naturales Persistentes (ANP)

La operación de diferencia en el álgebra de mapas entre los mapas temáticos 1984-1998 y 1998-2014 produjo dos mapas intermedios de áreas naturales, luego estos dos mapas fueron nuevamente procesados en el álgebra de mapas para obtener el producto final donde

se reflejaron las áreas naturales que han persistido en la zona de distribución potencial del bioma BsT durante los últimos 30 años. En términos generales, de las 154.777 ha de áreas naturales que se encontraban en la zona de estudio (ZAHTVC+HVC) para 1984, representan el 11,4 % de esta, y corresponde al 26 % de aquellas que han persistido hasta 2014. Las ANP se concentran en AMMHUPX (65 %) y BOCSELF (30 %) del bioma ZAHTVC, y en BOCHURA (19 %) y BICSERA (18 %) del bioma HVC (Figura 3).

Discusión

Exactitud de la clasificación de las imágenes satelitales

Los resultados obtenidos en la exactitud global de los mapas temáticos de 1984, 1998 y 2014 son similares a los obtenidos en otras clasificaciones basadas en pixel, con valores entre el 73,3 % y el 75% (Mas *et al.* 2010); entre el 74 % y el 81 %, así como valores Kappa del 0,64 (Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2012); y entre el 85 % y el 90 % (Abd El-Kawy *et al.* 2011). Aunque se considera satisfactoria una clasificación

general mayor al 75 % (Mas *et al.* 2010), la USGS recomienda una exactitud global del 85 % y una exactitud mínima por clase del 70 % cuando se usan productos Landsat (Bakr *et al.* 2010). Aunque las exactitudes globales obtenidas en esta investigación no cumplieron el nivel mínimo recomendado por la USGS, se debe tener en cuenta que esto se debe a los errores de asignación de píxeles de áreas construidas, cuerpos de agua, otras coberturas y nubes, que, al presentar valores espectrales similares entre ellos, disminuyeron considerablemente la exactitud global. Sin embargo, las áreas naturales y cultivadas fueron clasificadas en nivel de exactitud alto y el Índice Kappa fue nivel bueno o moderado (Congalton 2001, Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2012), por lo tanto, los mapas temáticos obtenidos se consideraron confiables para proceder en las etapas subsiguientes de detección de cambios.

Para detectar cambios, la comparación post-clasificación es de los más exactos al minimizar los problemas asociados con imágenes adquiridas bajo diferentes condiciones atmosféricas (Abd El-Kawy *et al.* 2011). Generalmente las clases temáticas son identificadas por interpretación visual y aplicando el algoritmo *Maximum Likelihood* en la clasificación supervisada. El primero, garantiza la exactitud del procesamiento de datos y remueve inconsistencias entre imágenes adquiridas en diferentes años; ya que el investigador combina su conocimiento para diferenciar coberturas presentes en el área bajo evaluación a partir del color, forma, textura y patrones de la imagen (Ruelland *et al.* 2010). Por otro lado, *Maximum Likelihood* es el método paramétrico más eficiente para producir mapas temáticos (Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2012) y junto a la interpretación visual para construir las firmas espectrales de cada clase temática, mejora la exactitud de clasificación aproximadamente en un 10 % (Shalaby y Tateishi 2007, citado por Abd El-Kawy *et al.* 2011).

Para minimizar el efecto de errores, todos los productos Landsat han sido previamente calibrados por cruzamiento bajo estándar radiométrico consistente para permitir su operatividad para el público (Hansen y Loveland 2012). Por este motivo, las imágenes TM

y OLI utilizadas en este estudio no fueron corregidas radiométrica ni atmosféricamente, teniendo en cuenta que estas correcciones tienen baja influencia sobre la exactitud de la clasificación de las imágenes (Bakr *et al.* 2010), y tampoco son necesarias para comparar mapas temáticos de imágenes clasificadas de forma independiente (Abd El-Kawy *et al.* 2011, Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2012, Hansen y Loveland 2012). Sin embargo, la exactitud de clasificación depende también de la combinación de bandas que se usen para discriminar las coberturas en la imagen satelital.

Por un lado, la respuesta espectral observada de una cobertura depende de la cantidad de bandas empleadas y de su orden (Berberoglu y Akin 2009). Una combinación de las bandas del infrarrojo cercano, rojo e infrarrojo medio, proveen buen contraste para diferenciar diferentes tipos de vegetación y sus condiciones, así como para reducir efecto de aerosoles de la atmósfera, nubes y ángulo del sensor (Bakr *et al.* 2010). Por otro lado, si estadísticamente algunas firmas espectrales se superponen, un pixel puede ser asignado a la clase con la mayor probabilidad de acuerdo al umbral Guassiano que establece el algoritmo al construir la firma espectral para cada clase temática (Nahuelhual *et al.* 2012), ya que la asignación de un pixel a una clase y no a otra no solo depende de la varianza y la covarianza de las firmas de cada clase, sino del comportamiento espectral de dicho pixel (Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2012). Esto induce errores durante la cuantificación de cambios, sea por comparación espectral o temática, sobre todo en las caracterizaciones espectrales individuales (Hansen y Loveland 2012). Esta heterogeneidad hace que el enfoque basado en pixel sea menos robusto, provocando el efecto sal y pimienta (Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2012).

Esta variabilidad espectral es característica de la vegetación del bosque seco tropical. Este bioma es altamente estacional y la respuesta espectral sigue patrones anuales similares (Hesketh y Sánchez-Azofeifa 2014). En época de lluvias el dosel es uniformemente verde y en época seca se observa un mosaico complejo de hábitats con diferentes tasas de secamiento, de exposición de suelos y de edades de

sucesión (Janzen 1988). El mosaico comprende un rango de especies caducifolias, semicaducifolias y perennes que reflejan la heterogeneidad de factores ambientales (Alburquerque *et al.* 2012). La pérdida de follaje asociado a la estacionalidad de las lluvias se produce especialmente en estados sucesionales intermedios, pues el estado inicial tiene muchos *gaps* en el dosel y los estados tardíos presentan dosel cerrado y uniforme (Kalácska *et al.* 2005). Una indiferencia frente a esta variabilidad puede ser responsable para la tradicional tergiversación del BsT en las evaluaciones de coberturas basadas en satélites (Hesketh y Sánchez-Azofeifa 2014). Esta variabilidad fenológica podría explicar en parte la baja cobertura de áreas naturales identificadas en el mapa temático del año 2014, sumado a que en este año se presentó el fenómeno de El Niño.

Sumado a lo anterior, se debe tener presente el alto grado de reducción en la extensión del BsT. Las áreas donde se localiza, generalmente se componen de parches dispersos de vegetación leñosa, arbustos y pasturas que presentan un único estrato de coronas de árboles con alturas máximas de aproximadamente 6-8 m (Arroyo-Mora *et al.* 2005). Por ello, la cantidad de tierra dedicada a pasturas y suelos expuestos conduce a que los píxeles de bosque seco, sea que se encuentren en etapa sucesional temprana o que estén altamente perturbados, sean incluidos con una alta probabilidad en otro tipo de coberturas (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010), y haciéndolos más sensibles durante la clasificación de la imagen (Mas y Navarrete 2010). Esto se pudo evidenciar en los suelos erosionados en la zona de piedemonte del costado oriental de la cordillera Occidental y el costado occidental de la cordillera Central, al igual que en los parches más pequeños inmersos en las áreas cultivadas. Estas áreas pequeñas y dispersas son difíciles de detectar pues generan cambios sutiles en los valores de reflectancia lo que lleva a subestimarlos (Prishchepov *et al.* 2012).

Pese a que se recomienda el uso de imágenes colectadas durante la época seca para evidenciar las propiedades estructurales del bosque seco, por ser estas más pronunciadas y distintivas, facilitando su

reconocimiento en medio de otro tipo de coberturas (Kalácska *et al.* 2007, Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010); se debe considerar que los cambios en el cerramiento del dosel y el aglomerado de las hojas con la copa también pueden inducir variaciones en la reflectancia (Hesketh y Sánchez-Azofeifa 2014), y dadas las condiciones de alta fragmentación donde los efectos del suelo son más sentidos en las áreas de bajo cerramiento del dosel (Hesketh y Sánchez-Azofeifa 2014), sería recomendable utilizar imágenes satelitales tanto de épocas secas como de lluvias en un mismo año para reconocer los cambios fenológicos y sucesionales, y más importante, reconocer el efecto de la fenología de la vegetación natural del bosque seco sobre la estimación del área de extensión de este bioma.

Para ello se debe tener en cuenta que, durante la época húmeda, los pequeños árboles, arbustos y herbáceas junto a pasturas forman un sotobosque grueso confundiendo la firma espectral en las áreas abiertas y llenando las lagunas de la copa de las etapas temprana e intermedia que comienza a asemejarse a la de un dosel de bosque maduro. En una época seca, los diferentes estadios de regeneración son claramente resaltados en la respuesta espectral y la confusión con herbáceas del sotobosque es minimizada. Sin embargo, la dificultad de adquirir imágenes libres de nubes en la época de lluvias afecta la capacidad para definir la localización y nivel de sucesión de bosque seco durante la época de dosel con hojas. Este problema contribuye a una subestimación sistemática de la extensión BsT a nivel regional y tal vez mundial (Arroyo-Mora *et al.* 2005). Debido a la heterogeneidad inherente dentro de cada etapa sucesional y el paisaje como un todo para cada característica de estructura y diversidad, es importante el uso de una técnica de inferencia que no se vea influenciada por valores atípicos (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010).

Cambios históricos de uso del suelo

Es reconocido que el uso económico potencial del suelo es uno de los factores que incide significativamente en los procesos de deforestación y fragmentación (Gasparri y Grau 2009). En el caso del valle geográfico del río Cauca, la transformación

del paisaje se ha dado en tres momentos. El primero fue hace unos 10.000 años con los asentamientos de comunidades indígenas (Patiño 1975), el segundo con la llegada de los españoles en el siglo XVI (Patiño 1975, Rivera *et al.* 2006) y el tercer momento estuvo marcado por la influencia de políticas económicas continentales hacia mediados del siglo XX, este último y más trascendental fue consecuencia del bloqueo económico realizado por los Estados Unidos hacia Cuba en 1962, situación que impulsó la industria azucarera en la región (Rivera *et al.* 2006).

Aunque en la región las haciendas ganaderas y trapiches de caña de azúcar presentaron pocas modificaciones en términos de producción entre mediados del 1500 hasta la mitad de 1900, fue la relevancia dada a la agricultura tecnificada sobre la ganadería lo que indujo el cambio drástico ocurrido en la zona plana del Valle del Cauca (Patiño 1975, Rivera *et al.* 2006). Dicho cambio aconteció a inicios de 1950, cuando la reconversión de predios ganaderos hacia la siembra de caña de azúcar triplicó el área sembrada de este cultivo hacia 1970, cultivos industriales como el algodón, soya y sorgo también aumentaron el área en casi diez veces, para un total de 241.251 ha sembradas en el valle geográfico. Como resultado la proporción de cultivos de pequeños predios como el frijol, el plátano y la yuca se vio reducida (Rivera *et al.* 2006).

En el último momento de transformación se evidencia un patrón en los cambios de cobertura del suelo. Hacia 1940, la influencia de la ganadería fue importante y esto se refleja en las 70.000 ha dedicadas a esta actividad frente a las 10.000 ha destinadas al cultivo de caña. La actividad ganadera se concentraba en el norte, en los municipios de Zarzal, Roldanillo, Bolívar, La Unión, mientras que la cañicultura se estableció en los alrededores de municipios como Palmira y La Paila donde se encontraban los ingenios de Manuelita, Providencia y Riopaila. Cultivos como el tabaco se implementaron en los municipios de Toro y Bolívar, y cultivos como el sorgo y la soya fueron impulsados en municipios como Bugalagrande, Buga, Tulúa, Cartago y Zarzal por la creciente industria de concentrados para animales (Rivera *et al.* 2006). Sin

embargo, aún se apreciaban áreas naturales en zona de ladera y piedemonte sobre las cordilleras Central y Occidental y al sur del departamento en el municipio de Jamundí, donde se sembraban cultivos de pancoger y otros como cacao y plátano, conservando los árboles del estrato de dosel o de sotobosque (Rivera *et al.* 2006), asimilándose a un arreglo silvopastoril o agroforestal.

Otros lugares donde aún se conservaban áreas naturales en la última etapa de transformación fueron los humedales, el río Cauca, sus afluentes y madre viejas. La vegetación riparia asociada a estos permaneció intacta hasta que el proceso de desarrollo económico de la región promovió la regulación del caudal del río Cauca (Rivera *et al.* 2006). Las inundaciones inhabilitaban 87.400 ha proyectadas para la implementación de sistemas intensivos de producción en el costado oriental del río Cauca y junto a 15.286 ha de humedales se veía reducida en un 25 % el área que se podía destinar con fines agrícolas. Es así que para el periodo 1950-1970, el 78 % del área de humedales habían desaparecido y se comenzó la construcción de jarillones sobre el río Cauca para mitigar el impacto de las inundaciones (Rivera *et al.* 2006). Las inundaciones en época de lluvias desvalorizaban las tierras aledañas a humedales, a los ríos y a las madre viejas, esto llevó a la materialización del proyecto de la represa de Salvajina hacia 1984 y su entrada en operación un año después (Rivera *et al.* 2006, CVC y Univalle 2007). Todo esto resultó en una reducción total del 82 % del área de cuerpos de agua que estuvo además acompañada por la desecación y uso agrícola de los humedales y madre viejas que fueron rellenados para fines agrícolas (Parra y Hernández 2010).

Otro factor influyente en la transformación del paisaje fue la época de violencia entre los partidos Liberal y Conservador, lo que condujo no sólo al desplazamiento de campesinos que vivían en las laderas y en municipios de Bugalagrande, Tulúa, Cartago, Buga, Zarzal, Obando y La Victoria, sino además a cambios en el patrón de tenencia de la tierra (Rivera *et al.* 2006).

Efectos de los cambios de cobertura

Se ha reconocido que todos los ecosistemas están sujetos a diferentes tipos de perturbaciones, naturales y antrópicos, lo que induce dinámicas a nivel espacial y temporal que se reflejan a nivel de paisaje (Vargas 2011). La conversión de la cobertura vegetal de bosque seco hacia cultivos ha tenido implicaciones muy importantes en la fragmentación de hábitats para las diferentes especies (Carvajal-Cogollo y Urbina-Cardona 2008, Rodríguez *et al.* 2012). Esta conversión de coberturas es una de las perturbaciones antrópicas más importantes sobre los ecosistemas tropicales (Vargas 2011). Las consecuencias se observan, por un lado, en la alteración de los ciclos biogeoquímicos y de las condiciones climáticas (MEA 2005); y por otro, en una mayor mortalidad de árboles, en el bajo desempeño de las plántulas reduciendo así el potencial regenerativo de los bosques (Benítez-Malvido 1998, citado por Vargas 2012). En el contexto del cambio climático, la deforestación y degradación de bosques aporta entre el 6 y 17 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (Tang *et al.* 2012).

Pese a la deforestación y el proceso de fragmentación y degradación de bosque seco en el departamento del Valle del Cauca, los resultados evidencian que durante los últimos 30 años las áreas naturales asociadas a dicho bioma han sido un elemento importante en el paisaje. Para el año 1984 se observó una predominancia de coberturas naturales en el área de estudio, aproximadamente del 44 %, frente a un 38 % de áreas cultivadas (Tabla 1). Sin embargo, en los últimos 16 años se ha observado una aceleración en la tasa de pérdida de cobertura vegetal, lo que se ve representado en una pérdida total de estas en un 51 % para el 2014. Las áreas naturales en el periodo de estudio se concentraron en las riberas del río Cauca y afluentes, madre viejas y humedales, así como en el piedemonte y laderas. En estos últimos, el cambio hacia pasturas para ganadería ha generado procesos erosivos que se ven reforzados por las condiciones climáticas locales, especialmente en el costado oriental de la cordillera Occidental (Rivera *et al.* 2006).

La pérdida de los estratos característicos del bosque seco tropical y su reemplazo por gramíneas y arbustos espinosos puede llevar a un proceso de degradación irreversible conocido como aridización, y que es reforzado por el pastoreo continuo y la erosión hídrica induciendo la pérdida de la fertilidad del suelo así como de la biodiversidad local y regional (Valencia-Duarte *et al.* 2012). Otros efectos negativos de la intensificación del uso del suelo por actividades agrícolas se observan en dos de los procesos ecológicos más importantes, la alteración de la producción primaria y la descomposición (Duro *et al.* 2014), también en el albedo, la emisividad y la transpiración (Zhu y Woodcock 2014) procesos en los que la vegetación natural participa en la regulación climática regional.

Aunque se observa una tendencia general de reducción de las áreas naturales, existen diferencias entre cada uno de los ecosistemas presentes. Los más afectados son precisamente aquellos ubicados en el piedemonte y asociados a toda la zona inundable del río Cauca, como BOCSEPX, BOCSELF, BOCSEPA y AMCSEPA del bioma ZAHTVC y BOCSEPA del bioma HVC. Sin embargo, la reducción de la tasa de transformación observada en ecosistemas como BOCHURA y BICSERA del bioma HVC, y AMMHUPX del bioma ZAHTVC podría estar relacionada con factores asociados a estrategias de conservación. Por un lado, en BICSERA se encuentra la Laguna de Sonso, que fue convertida en Reserva Natural en 1978 para reducir el deterioro producido por prácticas de manejo inadecuados, y para conservar su biodiversidad representada en la avifauna acuática residente y migratoria (CVC y Asoytoco 2007). Esta característica impulsó que fuera catalogada como área de importancia de las aves (AICA) por BirdLife International en el 2003 (CVC y Asoytoco 2007). Recientemente la laguna de Sonso ha sido declarada como Distrito Regional de Manejo Integrado bajo las consideraciones de homologación de figuras de conservación de acuerdo a lo contemplado por el Decreto 1076 de 2015 (Acuerdo CVC 105 de 2015).

Por otro lado, los ecosistemas BICSERA y AMMHUPX, ambos localizados en el sur del área de estudio, específicamente en el municipio de Jamundí, aunque también redujeron su tasa de reducción de áreas naturales, no están asociados a ninguna unidad que se encuentre bajo alguna figura de conservación, por lo que las razones para sustentar esta dinámica son desconocidas. Sin embargo, es importante tener presente que es precisamente la zona sur de la región donde fue visible la pérdida general de áreas naturales, por lo que conciliar esta aparente incongruencia requeriría análisis más detallados que se escapan de los alcances de este trabajo.

Oportunidades para la restauración

La dinámica de cambio entre las áreas naturales y cultivadas se caracteriza por ser un proceso de doble vía que no implica necesariamente la pérdida total de las coberturas naturales. Si bien se desconoce el estado sucesional de las áreas naturales que han persistido en el área de distribución potencial de bosque seco del VGRC del departamento, éstas representan una oportunidad para su restauración. Sin embargo, es importante reconocer que en términos de conservación de la biodiversidad una transición de cobertura boscosa natural hacia cultivos presume una afectación negativa mayor en términos de pérdida de elementos biológicos, que la ganancia en estos cuando un área cultivada es abandonada, ya que la recuperación está determinada por la velocidad de desarrollo del ecosistema y por la frecuencia e intensidad de la perturbación (Vargas 2011). Aquellas zonas, como por ejemplo la zona de influencia de la Laguna de Sonso, donde se evidenció recuperación temporal de áreas naturales que luego retornaron a la actividad productiva inicial no aportan elementos para la restauración. En este sentido, se reconoce la importancia que representa la homologación en la denominación del área protegida de forma que incida y fortalezca en procesos de recuperación y mantenimiento de la biodiversidad en este corredor biológico. Por ejemplo, dado que el crecimiento de las plantas requiere más tiempo en zonas secas porque dependen de la disponibilidad de agua, su escasez la convierte en uno de los principales obstáculos para

la restauración del BsT (Fajardo *et al.* 2013). En este escenario, la disponibilidad de este elemento en los humedales y zonas inundables del río Cauca, puede conducir a facilitar procesos de restauración activa, por un lado porque pueden convertirse en bancos de semillas, y por otro, se facilita el transporte y asimilación de nutrientes para las plantas, favoreciendo así la recuperación de la cobertura de BsT (Fajardo *et al.* 2013).

El abandono de áreas agrícolas tiene consecuencias ambientales importantes pues a través de estas áreas se pueden reconectar fragmentos de bosque que se encontraban separados, siempre y cuando estas áreas abandonadas no reinicien actividades productivas intensivas. Sumado a esto, las áreas abandonadas que muestran etapas de sucesión ecológica tempranas evidencian un incremento de la diversidad biológica (Prishchepov *et al.* 2012), por lo que es importante considerar la temporalidad del abandono de estas prácticas de uso del suelo y el reconocimiento de sus causas, ya que pueden aportar insumos para iniciar y fomentar acuerdos de restauración e iniciativas de conservación con los propietarios de los predios involucrados. Por ende, dada la recuperación temporal observada, así como la dinámica de intercambio entre áreas naturales y áreas cultivadas, es posible asumir que la capacidad de recuperación del bosque seco no se ha perdido.

La dinámica de la vegetación del BsT está asociada a la temporalidad de las lluvias, por lo que se puede asumir que, durante la época seca, especies pioneras herbáceas recolonizan espacios abandonados, siempre y cuando exista disponibilidad de estas en el banco de semillas del suelo o se encuentre una fuente cercana de propágulos, opciones que estarán relacionados con la severidad y recurrencia del disturbio. Lo anterior implica profundizar en el estudio de los estados sucesionales de dichas zonas con el fin de reconocer las posibles trayectorias de recuperación (Vargas 2011). Por ejemplo, es posible aplicar como primera medida de restauración, el abandono, que, siendo una técnica de restauración pasiva, permitiría reconocer las trayectorias de sucesión ecológica, así como los efectos de los diferentes tipos de disturbio

y su intensidad sobre la estructura, composición y función del ecosistema. Este podría ser el caso de pastizales abandonados; sin embargo, si las propiedades físicoquímicas y biológicas del suelo también han sido alteradas, como sucede en zonas de cultivo, las actividades de restauración se enfocarían inicialmente en la recuperación del suelo (Márquez-Huitzil 2005).

No se puede desconocer que la deforestación y alta fragmentación de las formaciones vegetales asociadas al bioma Bosque Seco Tropical en el valle geográfico del río Cauca tuvieron un efecto negativo en la generación de estrategias de conservación a escala regional. La atención de investigadores y tomadores de decisiones se enfocó en las pocas áreas remanentes que aún conservaban la estructura y composición característica de bosque seco, siendo estas las áreas que fueron priorizadas y conservadas bajo alguna figura de conservación pública o privada. El hecho de que se hayan podido identificar otras áreas naturales permitirá consolidar núcleos y corredores de restauración entre las áreas conservadas y las áreas naturales persistentes, de forma que se contribuya a reducir el estado crítico en el que ha sido categorizado el valle geográfico por World Wildlife Foundation (Locklin s.f. en: <http://www.worldwildlife.org/ecoregions/nt0207>).

La implementación de un programa de monitoreo de estrategias de restauración a escala regional requiere una comprensión de la complejidad del paisaje (Tang *et al.* 2012). La temporalidad del monitoreo es uno de los principales factores a tener en cuenta, para ello, el programa debe estar soportado en diferentes fuentes de imágenes adquiridas por sensores remotos, en sistemas de información geográfico preferiblemente de código abierto, así como de trabajo de campo para identificar y verificar las áreas potenciales y realizar seguimiento de aquellas bajo diferentes estrategias de restauración (Alphan *et al.* 2009). En el caso de paisajes agrícolas, los mapas temáticos de coberturas del suelo derivados de imágenes satelitales son el primer paso que brindan elementos para iniciar un programa de monitoreo (Duro *et al.* 2014), sobre todo porque se

pueden aplicar métricas que facilitan la modelación de las interacciones entre los componentes del paisaje y los procesos ecológicos allí presentes (Tang *et al.* 2012).

La formulación e implementación de un programa de monitoreo de procesos de restauración de bosque seco tropical, especialmente en el Valle del Cauca, contribuiría a metas de conservación de biodiversidad a diferentes escalas (Castro *et al.* 2003), garantizando a futuro su sustentabilidad y los servicios ecosistémicos (Vargas 2011), especialmente los procesos ecológicos que influyeron en la fertilidad de sus suelos y la regulación del clima, características muy importantes que potenciaron el desarrollo agroindustrial de la región. Lo anterior se ve fortalecido con el Plan Nacional de Restauración – PNR (MADS 2015) y el Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca – POTDVC (Londoño y Falla 2014). En el primero, se propone un ejemplo para el monitoreo a la restauración de bosque seco que involucra dentro de sus objetivos, la recuperación de hábitat, de conectividad, de cobertura vegetal, de biodiversidad y de especies nativas. Todas estas a nivel de terreno, por lo que el monitoreo basado en sensores remotos sería un insumo que permitiría evaluar a escala del paisaje el comportamiento del bioma, aportando al cumplimiento de varias acciones contempladas en la Fase I del Plan.

En cuanto al POTDVC, el corredor del río Cauca es reconocido como eje articulador y base del desarrollo económico y cultural, y por ello su Zona Forestal Protectora (ZFP) es la base natural para el sostenimiento ecosistémico y socioeconómico del departamento. Las áreas naturales persistentes identificadas en este corredor aportan elementos claves para justificar una ordenación clara de los suelos de la ZFP del río Cauca en los respectivos Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios con influencia sobre este. Las ANP también contribuirían a fortalecer el Sistema Departamental de Áreas Protegidas – SIDAP, y que el POTDVC considera insumo importante para determinar la estructura natural de soporte del territorio.

La restauración del bosque seco tropical en el Valle del Cauca debe comenzar por una ordenación ecológica del territorio, promoviendo una heterogeneidad espacial con el fin de mantener una integridad funcional y favorecer los procesos ecológicos en todos los niveles de organización biológica. De esta manera se inducirá una sinergia entre los procesos ecológicos y sociales a través del aprovechamiento de los servicios ecosistémicos del bosque seco y los procesos de retroalimentación del componente antrópico del sistema (Odum y Barret 2006). En este sentido, la regulación de las actividades humanas debe ser una prioridad (Sánchez 2009). La mejor herramienta es una legislación efectiva que regule los usos del suelo en paisajes muy fragmentados (Gasparri y Grau 2009). En el caso del valle geográfico del río Cauca donde la matriz del paisaje corresponde a cultivos de caña de azúcar, esta debe transformarse de manera que se convierta en un mosaico de hábitats de diferentes grados de sucesión que amortigüe los efectos negativos de la fragmentación del ecosistema a diferentes escalas espaciales para las especies asociadas (Herrera 2011), manteniendo a su vez las ANP en el tiempo e incluir nuevas áreas como producto de un programa de monitoreo y del diseño e implementación de incentivos para la restauración.

Dado que es poco el conocimiento que se tiene acerca de las respuestas ecológicas y humanas por la transformación del paisaje, la mejor gestión debe ser activa y adaptativa. Esto demanda diseñar programas de gestión que faciliten evaluar el funcionamiento e interacción de los componentes de los diferentes ecosistemas con el fin de reducir la incertidumbre alrededor de éstos. Dichos programas deben apoyarse en sistemas de monitoreo de los servicios ecosistémicos, sus interrelaciones y su influencia sobre el bienestar humano, así como comprender los cambios no lineales debido a las perturbaciones inducidas constantemente por las actividades humanas (MEA 2005). Es así que la generación de información de línea base es el primer insumo requerido a partir de la cual puedan diseñarse indicadores de estado, de seguimiento y gestión, y es así como los resultados de la presente investigación contribuyen con este propósito.

Conclusiones

Es una realidad que la estructura, composición y función del bosque seco tropical ha cambiado en las últimas décadas en el Valle del Cauca. En este sentido, es importante apoyarse en áreas naturales presentes en su área de distribución potencial para el diseño de estrategias de restauración y conservación, en las que la flora y fauna pueda recuperarse o retornar, además de fomentar y fortalecer las interacciones que soportan los procesos ecológicos que sostienen estos ecosistemas.

La generación de información base debe ser una prioridad para el monitoreo del estado del bosque seco, e incorporar información socioeconómica que facilite la modelación bajo diferentes escenarios de cambio climático para tomar decisiones acertadas en el futuro, así como de los cambios estacionales asociados a la fenología de la vegetación del bioma de bosque seco y de sus diferentes estados sucesionales a partir de sensores remotos.

El futuro del bosque seco está ligado a las decisiones que se toman respecto a los usos del suelo y a las prioridades económicas y políticas para la región. De allí lo valioso de iniciar procesos comunitarios, para que sean las personas que dependen de este, quienes apropien herramientas y estrategias de aprovechamiento y uso sostenible de la biodiversidad y de los demás recursos naturales que se encuentran en una de las áreas de distribución potencial de bosque seco del país y que representa un desafío institucional, académico y socio-económico para su restauración.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira por el apoyo brindado al desarrollo de esta investigación. 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 en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, dentro del cual se enmarca esta investigación. A la Universidad Nacional de Colombia por las becas otorgadas a través de las diferentes modalidades, auxiliar docente (Resolución No. 779 del 30 de agosto de 2013) y asistente docente (Resolución No. 142 del 24 de febrero de 2014) dentro del proyecto “Apoyo a estudiantes de posgrado de la Universidad Nacional de Colombia con buen desempeño académico”. Finalmente, agradecemos los comentarios y sugerencias realizados por los pares evaluadores que enriquecieron significativamente este manuscrito.

Este artículo de investigación es derivado de la tesis de Maestría Dinámica espacio-temporal de la cobertura de bosque seco tropical en el departamento del Valle del Cauca desarrollado en la Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. El objetivo general de la tesis de maestría fue determinar la dinámica espacio-temporal de la cobertura de bosque seco tropical en el valle geográfico del río Cauca jurisdicción del departamento del Valle del Cauca. La defensa de la tesis se llevó a cabo el día 22 de octubre de 2015 y el diploma de Magister fue entregado en ceremonia de grado realizada el 01 de abril de 2016.

Bibliografía

- Abd El-Kawy, O. R., J. K. Rød, H. A. Ismail y A. S. Suliman. 2011. Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography* 31: 483–494. DOI:10.1016/j.apgeog.2010.10.012
- Aguirre-Gutiérrez, J., A. C. Seijmonsbergen y J. F. Duivenvoorden. 2012. Optimizing land cover classification accuracy for change detection, a combined pixel-based and object-based approach in a mountainous area in Mexico. *Applied Geography* 34: 29–37. DOI:10.1016/j.apgeog.2011.10.01
- Ahlqvist, O. 2008. Extending post-classification change detection using semantic similarity metrics to overcome class heterogeneity: A study of 1992 and 2001 U.S. National Land Cover Database changes. *Remote Sensing of Environment* 112: 1226–1241. DOI: 0.1016/j.rse.2007.08.012
- de Albuquerque, U. P., E. de Lima, A. C. A. El-Deir, A. L. A. de Lima, A. Souto, B. M. Bezerra, E. M. N. Ferraz, E. M. X. Freire, E. V. de S. B. Sampaio, F. M. G. Las-Casas, G. J. B. de Moura, G. A. Pereira, J. G. de Melo, M. Alves Ramos, M. J. N. Rodal, N. Schiel, R. M. de Lyra-Neves, R. R. N. Alves, S. M. de Azevedo-Júnior, W. R. Telino y W. Severi. 2012. Caatinga Revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. *Scientific World Journal* 2012: 1–18. Article ID 205182. DOI:10.1100/2012/205182
- Alphan, H., H. Doygun y Y. I. Unlukaplan. 2009. Post-classification comparison of land cover using multitemporal Landsat and ASTER imagery: the case of Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 151: 327–336. DOI: 10.1007/s10661-008-0274-x
- Alvarado-Solano, D. P. y J. T. Otero. 2015a. Distribución espacial del bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 20 (3): 141–153. DOI: 10.15446/abc.v20n3.46703
- Alvarado-Solano, D. P. y J. T. Otero-Ospina. 2015b. Dinámica espacio-temporal de Bosque Seco Tropical en el Valle del Cauca, Colombia. *En: Memorias Congreso Colombiano de Botánica, Colombia*. 279 pp.
- Araque, L. y A. Jiménez. 2009. Caracterización de firma espectral a partir de sensores remotos para el manejo de sanidad vegetal en el cultivo de palma de aceite. *Palmas* 30 (3): 63–79.
- Arcila, A. M., C. Valderrama y P. Chacón de Ulloa. 2012. Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana* 13 (2): 86–101.
- Armbrrecht, I. y P. Ulloa-Chacón. 1999. Rareza y diversidad de hormigas en fragmentos de bosque seco colombianos y sus matrices. *Biotropica* 31 (4): 646–653. DOI: 10.1111/j.1744-7429.1999.tb00413.x
- Armenteras, D., N. Rodríguez, J. Retana y M. Morales. 2011. Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change* 11 (3): 693–705. DOI: 10.1007/s10113-010-0200-y
- Armenteras, D., E. Cabrera, N. Rodríguez y J. Retana. 2013. National and regional determinants of tropical deforestation in Colombia. *Regional Environmental Change* 13 (2): 1181–1193. DOI: 10.1007/s10113-013-0433-7
- Arroyo-Mora, J. P., G. A. Sánchez-Azofeifa, M. E. R. Kalacska, B. Rivard, J. C. Calvo-Alvarado y D. H. Janzen. 2005. Secondary Forest Detection in a Neotropical Dry Forest Landscape Using Landsat 7 ETM+ and IKONOS Imagery. *Biotropica* 37: 497–507. DOI:10.1111/j.1744-7429.2005.00068.x

- Bakr, N., D. C. Weindorf, M. H. Bahnassy, S. M. Marei y M. M. El-Badawi. 2010. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. *Applied Geography* 30: 592–605. doi:10.1016/j.apgeog.2009.10.008
- Ballesteros, C., K. Reyes y J. Racero. 2009. Estructura poblacional y etología de *Bradypus variegatus* en fragmento de bosque seco tropical, Córdoba - Colombia. *Revista MVZ Córdoba* 14 (3): 1812–1819.
- Barraza, J., J. M. Montes, N. J. Martínez y C. Deloya. 2010. Ensamblaje de escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) del Bosque Tropical Seco, Bahía Concha, Santa Marta (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología* 36 (2): 285–291.
- Berberoglu, S. y A. Akin. 2009. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean International. *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11: 46–53. DOI: 10.1016/j.jag.2008.06.002
- Boca, T. y G. Rodríguez. s.f. Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos. Documento Técnico. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 24 pp.
- Bonilla, R., B. Roncallo, J. Jimeno y T. García. 2008. Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, César. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9 (2): 5–11.
- Carvajal-Cogollo, J. E. y J. N. Urbina-Cardona. 2008. Patrones de diversidad y composición de réptiles en fragmentos de bosque seco tropical en Córdoba, Colombia. *Tropical Conservation Science* 1 (4): 397–416.
- Cavelier, J. y A. Etter. 1995. Deforestation of montane forest in Colombia as a result of illegal plantations of opium (*Papaver somniferum*). Pp: 125–137. En: Churchill, S. P., H. Balslev, E. Forero y J. L. Luteyn (Eds.). Biodiversity and conservation of neotropical montane forest. The Nueva York Botanical Garden, Nueva York.
- Congalton, R. G. 2001. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International Journal of Wildland Fire* 10: 321–328.
- Corporación Autónoma del Valle del Cauca - CVC y Universidad del Valle – Univalle. 2007. Capítulo 3. Generalidades del Embalse de Salvajina. Volumen V. Proyecto de Modelación del Río Cauca PMC Fase III. Santiago de Cali. 39 pp.
- Corporación Autónoma del Valle del Cauca - CVC y Asociación de Usuarios para la Protección y Mejoramiento de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Yotoco y Mediacanoa - Asoytoco. 2007. Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Laguna de Sonso. Santiago de Cali. 355 pp.
- Duro, D., J. Girard, D. King, L. Fahrig, S. Mitchell, K. Lindsay y L. Tischendorf. 2014. Predicting species diversity in agricultural environments using Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 144: 214–225. DOI:10.1016/j.rse.2014.01.001
- Espírito-Santo, M., A. Sevilha, F. Anaya, R. Barbosa, G. Fernandes, G. A. Sánchez-Azofeifa, A. Scariot, S. E. de Noronha y C. Andrade. 2009. Sustainability of tropical dry forests: Two case studies in southeastern and central Brazil. *Forest Ecology and Management* 258: 922–930. DOI:10.1016/j.foreco.2009.01.022
- Etter, A., C. McAlpine, D. Pullar y H. Possingham. 2006. Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of Environmental Management* 79 (1): 74–87. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.05.017
- Etter, A. y P. Arévalo. 2014. Escenarios futuros de la cobertura forestal en Colombia. Pp: 55–56. En: Bello, J. C., M. Báez, M. F. Gómez, O. Orrego y L. Nägele, (Eds.). Biodiversidad 2014. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C.
- European Environment Agency - EEA. 1994. Corine Land Cover – Part One: Methodology. Reporte. Copenhagen. 94 pp.
- Fajardo, L., J. P. Rodríguez, V. González y J. M. Briceño-Linares. 2013. Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. *Journal of Arid Environments* 88: 236–243. DOI:10.1016/j.jaridenv.2012.08.009
- Fontalvo-Rodríguez, L. y C. Solís-Medina. 2009. Ensamblaje de hormigas (Hymenoptera:Formicidae) en fragmentos de bosque seco en el complejo carbonífero El Cerrejón (La Guajira, Colombia). *INTROPICA* 4: 5–15.
- Foody, G. M. 2009. Sample size determination for image classification accuracy assessment and comparison. *International Journal of Remote Sensing* 30 (20): 5273–5291. DOI: 10.1080/01431160903130937.
- Galindo G., O. J. Espejo, J. P. Ramírez, C. Forero, C. A. Valbuena, J. C. Rubiano, R. H. Lozano, K. M. Vargas, A. Palacios, S. Palacios, C. A. Franco, E. I. Granados, L. K. Vergara y E. Cabrera. 2014. Memoria técnica de la cuantificación de la superficie de bosque natural y deforestación a nivel nacional. Actualización periodo 2012 – 2013. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Bogotá D.C. 56 pp.
- Galván-Guevara, S., M. I. Sierra, F. H. Gómez, V. J. De la Ossa y A. Fajardo-Patiño. 2009. Biodiversidad en el área de influencia de la estación de primates de coloso, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana Ciencia Animal* 1 (1): 98–121.
- Gaviria-Ortiz, F. G. y E. R. Henao-Bañol. 2011. Diversidad de mariposas diurnas (Hesperioidea y Papilionoidea) del Parque Natural Regional El Vínculo (Buga-Valle del Cauca). *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural* 15 (1): 115–133.

- Gasparri, N. I. y H. R. Grau. 2009. Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). *Forest Ecology and Management* 258: 913–921. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.02.024
- García, H., G. Corzo, P. Isaacs y A. Etter. 2014. Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de Bosque Seco Tropical en Colombia: insumos para su gestión. Pp: 228–251. En: Pizano, C. y H. García (Eds.). *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá.
- Gilani, H., H. L. Shrestha, M. S. R. Murthy, P. Phuntso, S. Pradhan, B. Bajracharya y B. Shrestha. 2015. Decadal land cover change dynamics in Bhutan. *Journal of Environmental Management* 14: 91–100. DOI:10.1016/j.jenvman.2014.02.014
- Giraldo, M. A. 2012. Spatial scale and land use fragmentation in monitoring water processes in the Colombian Andes. *Applied Geography* 34: 395–402. DOI: 10.1016/j.apgeog.2012.01.004
- Gómez-Mosquera, D. A. y D. J. Macías-Pinto. 2012. Fenología del Palo Cruz (*Brownea rosa-de-monte* Bergius) en un bosque seco de Bolívar, Cauca. *Colombia Forestal* 15 (1): 105–117.
- Kalácska, M., J. C. Calvo-Alvarado y G. A. Sánchez-Azofeifa. 2005. Calibration and assessment of seasonal changes in leaf area index of a tropical dry forest in different stages of succession. *Tree Physiology* 25 (6): 733–744. DOI:10.1093/treephys/25.6.733
- Hansen, M. C. y T. R. Loveland. 2012. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 122: 66–74. DOI:10.1016/j.rse.2011.08.024
- Herrera, J. M. 2011. 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* 20 (2): 21–34.
- Herrerías, Y. y J. Benítez-Malvido. 2005. Consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas. Pp: 113–126. En: Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.). *Temas sobre restauración ecológica*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Hesketh, M. y A. Sánchez-Azofeifa. 2014. A review of Remote Sensing of Tropical Dry Forests. Pp: 83–100. En: Sánchez-Azofeifa, A., J. S. Powers, G. W. Fernandes y M. Quesada (Eds.). *Tropical Dry Forests in the Americas: Ecology, Conservation and Management*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac) y Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena). 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000.: Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá D.C., 200 pp.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andréis (Invemar), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi e Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann (IIAP). 2007. *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, D. C. 276 pp.
- Janzen, D. H. 1988. Tropical Dry Forests: The Most Endangered Major Tropical Ecosystem. Pp: 130–136. En: Wilson, E. O. y F. M. Peter (Eds.). *Biodiversity*. National Academy Press. Washington, D.C.
- Laurance, W. F., P. M. Fearnside, S. G. Laurance, P. Delamonica, T. E. Lovejoy, J. M. Rankin-de Merona, J. Q. Chambers y C. Gascon. 1999. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape – scale study. *Forest Ecology and Management* 118 (1): 127–138. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00494-0
- C. Londoño, y M. Falla. 2014. Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca. Fase 1: Diagnóstico Operativo del Territorio Departamental. Convenio Especial de Cooperación Técnica y Académica entre la Gobernación del Valle del Cauca – Departamento Administrativo de Planeación y la Universidad de San Buenaventura Cali – Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño. Documento Inédito. 755 pp.
- Loveland, T. R., y J. L. Dwyer. 2012. Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment* 122: 22–29. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.022
- Márquez, C. G. 2000. Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de Sostenibilidad en Colombia. *Gestión y Ambiente* 5: 33–49.
- Márquez-Huitzil, R. 2005. Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. Pp: 159–168. En: Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.). *Temas sobre Restauración Ecológica*. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Mas, J. F., Y. Gao y J. Pacheco. 2010. Sensitivity of landscape pattern metrics to classification approaches. *Forest Ecology and Management* 259: 1215–1224. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.12.016
- McRoberts, R. E., W. B. Cohen, E. Naesset, S. V. Stehman y E. O. Tomppo. 2010. Using remotely sensed data to construct and assess forest attribute maps and related spatial products, Scandinavian. *Journal of Forest Research* 25 (4): 340–367. DOI: 10.1080/02827581.2010.497496

- Miles, L., A. C. Newton, R. S. DeFries, C. Ravillious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J. E. Gordon. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*: 33: 491–505. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. 68 pp.
- Miller, H. M., L. Richardson, S. Koontz, J. Loomis y L. Koontz. 2013. Users, Uses, and Value of Landsat Satellite Imagery—Results from the 2012 Survey of Users: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1269. U.S. Department of the Interior y U.S. Geological Survey. Virginia. 51 pp.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. 2015. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá, D.C., 92 pp.
- Murphy, P. G. y A. E. Lugo. 1986. Ecology of Tropical Dry Forest. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 17: 67–88.
- Nahuelhual, L., A. Carmona, A. Lara, C. Echeverría y M. González. 2012. Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. *Landscape and Urban Planning* 107: 12–20. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.04.006
- Patiño, V. M. 1975. Historia de la vegetación natural y de sus componentes en la América Equinoccial. Imprenta Departamental. Santiago de Cali. 429 pp.
- Parra, A. y F. L. Hernández. 2010. Identificación y delimitación de humedales lénticos en el Valle Alto del Río Cauca mediante el procesamiento digital de imágenes de satélite. *Revista EIDENAR* 9. eidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/9/k.htm
- Portillo-Quintero, C. A. y G. A. Sánchez-Azofeifa. 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation* 143 (1): 144–155. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.09.020
- Prishchepov, A., V. Radeloff, M. Dubinin y C. Alcantara. 2012. The effect of Landsat ETM/ETM+ image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment* 126: 195–209. DOI: 10.1016/j.rse.2012.08.017
- Puyravaud, J. P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177 (1–3): 593–596. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3
- Ramírez, M. y M. L. Enríquez. 2003. Riqueza y diversidad de hormigas en sistemas silvopastoriles del Valle del Cauca, Colombia. *Livestock Research for Rural Development* 15 (1): 1–12.
- Reina-Rodríguez, G. A., N. H. Ospina-Calderón, A. Castaño, I. Soriano y J. T. Otero. 2010. Catálogo de las orquídeas del valle geográfico del río Cauca y su piedemonte andino bajo. Sur-occidente colombiano. *Cespedesia* 32 (91–92): 7–22.
- Rivera, C. C., L. G. Naranjo y A. M. Duque. 2006. De María a un mar de caña: imaginarios de naturaleza en la transformación del paisaje vallecaucano entre 1950 y 1970. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali. 202 pp.
- Rodríguez, G. M., K. Banda-R, B. S. P. Reyes y A. C. Estupiñán-González. 2012. Lista comentada de las plantas vasculares de bosques secos prioritarios para la conservación en los departamentos de Atlántico y Bolívar (Caribe colombiano). *Biota Colombiana* 13 (2): 7–39.
- Rodríguez, N., D. Armenteras-Pascual y J. Retana. 2013. Land use and land cover change in the Colombian Andes: dynamics and future scenario. *Journal of Land Use Science* 8 (2): 154–174. DOI: 10.1080/1747423X.2011.650228
- Roy, D. P., M. A. Wulder, T. R. Loveland, C. E. Woodcock, R. G. Allen, M. C. Anderson, D. Helder, J. R. Irons, D. M. Johnson, R. Kennedy, T. A. Scambos, C. B. Schaaf, J. R. Schott, Y. Sheng, E. F. Vermote, A. S. Belward, R. Bindischadler, W. B. Cohen, F. Gao, J. D. Hipple, P. Hostert, J. Huntington, C. O. Justice, A. Kilic, V. Kovalskyy, Z. P. Lee, L. Lymburner, J. G. Masek, J. McCorkel, Y. Shuai, R. Trezza, J. Vogelmann, R. H. Wynne y Z. Zhu. 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment* 145 (5): 154–172, DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.001
- Rudas, G., D. Marcelo, D. Armenteras, N. Rodríguez, M. Morales, L. C. Delgado y A. Sarmiento. 2007. Biodiversidad y actividad humana: Relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. 128 pp.
- Ruelland, D., F. Levvasseur y A. Tribotte. 2010. Patterns and dynamics of land-cover changes since the 1960s over three experimental areas in Mali. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12S: S11–S17. DOI:10.1016/j.jag.2009.10.006
- Ruiz, J. y M. C. Fandiño. 2007. Plantas leñosas del bosque seco tropical de la isla de Providencia, Colombia. Caribe suroccidental. *Biota Colombiana* 8 (1): 87–98.
- Sampedro-Marín, A., K. Aguas-Montes y D. Jiménez-Pineda. 2011. Estado de conservación y caracterización del hábitat de *Bradypus variegatus* Schinz 1825 (Mammalia: Xenarthra) durante la época seca, en el departamento de Sucre, Colombia. *Revista Colombia de Ciencia Animal* 3 (1): 15–34.
- Sánchez, G. 2009. Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos: aplicación empírica

- para sistemas agrarios de Castilla y León. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 251 pp.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., M. Quesada, J. P. Rodríguez, J. M. Nassar, K. E. Stoner, A. Castillo, T. Garvin, E. L. Zent, J. C. Calvo-Alvarado, M. E. R. Kalacska, L. Fajardo, J. A. Gamon y P. Cuevas-Reyes. 2005. Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica* 37 (4): 477-485. DOI: 10.1046/j.0950-091x.2001.00153.x-i1
- Sánchez-Cuervo, A. M., T. M. Aide, M. L. Clark y A. Etter. 2012. Land cover change in Colombia: surprising forest recovery trends between 2001 and 2010. *PloS One* 7 (8): e43943. DOI: 10.1371/journal.pone.0043943
- Scolozzi, R. y D. Geneletti. 2012. A multi-scale qualitative approach to assess the impact of urbanization on natural habitats and their connectivity. *Environmental Impact Assessment Review* 36: 9-22. DOI: 10.1016/j.eiar.2012.03.001
- Sesnie, S., P. Gessler, B. Finegan y S. Thessler. 2008. Integrating Landsat TM and SRTM-DEM derived variables with decision trees for habitat classification and change detection in complex neotropical environments. *Remote Sensing of Environment* 112 (5): 2145-2159. DOI: 10.1016/j.rse.2007.08.025
- Sexton, J. O., D. L. Urban, M. J. Donohue y C. Song. 2013. Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the Landsat-5 record. *Remote Sensing of Environment* 128: 246-258. DOI: 10.1016/j.rse.2012.10.010
- Song, S., C. E. Woodcock, K. C. Seto, M. P. Lenney y S. A. Macomber. 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote sensing of Environment* 75: 230-244.
- Strewe, R., C. Villa-de León, J. Alzate, J. Beltrán, J. Moya, C. Navarro y G. Utria. 2009. Las aves del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Intropica* 4: 79-91.
- Su, S., R. Xiao, Z. Jiang y Y. Zhang. 2012. Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale. *Applied Geography* 34: 295-305. DOI: 10.1016/j.apgeog.2011.12.001
- Tang, J., K. Bu, J. Yang, S. Zhang, y L. Chang. 2012. Multitemporal analysis of forest fragmentation in the upstream region of the Nenjiang River Basin, Northeast China. *Ecological Indicators* 23: 597-607. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.05.012
- Torres, A. M., J. Bautista Adarve, M. Cárdenas, J. A. Vargas, V. Londoño, K. Rivera, J. Home, O. L. Duque y A. M. González. 2012. Dinámica sucesional de un fragmento de bosque seco tropical del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana* 13 (2): 66-85.
- Valencia-Duarte, J., L. D. Trujillo y O. Vargas. 2012. Dinámica de la vegetación en un enclave semiárido del río Chicamocha, Colombia. *Biota Colombiana* 13 (2): 40-65.
- Vargas, O. 2011. Restauración Ecológica: Biodiversidad y Conservación. *Acta Biológica Colombiana* 16 (2): 221-246.
- Vargas, W. 2012. Los bosques secos del Valle del Cauca, Colombia: una aproximación a su flora actual. *Biota Colombiana* 13 (2): 102-164.
- Vela-Vargas, I. M. y J. Pérez-Torres. 2012. Murciélagos asociados a remanentes de bosque seco tropical en un sistema de ganadería extensiva (Colombia). *Chiroptera Neotropical* 18 (1): 1089-1100.
- Wright, S. J. y H. C. Muller-Landau. 2006. The future of Tropical Forest Species. *Biotropica* 38 (3): 287-301. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2006.00154.x
- Yepes, A. P. y J. A. Villa. 2010. Sucesión vegetal luego de un proceso de restauración ecológica en un fragmento de bosque seco tropical (La Pintada, Antioquia). *Revista Lasallista de Investigación* 7 (2): 24-34.
- Zhu, Z. y C. Woodcock. 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 144: 152-171. DOI: 10.1016/j.rse.2014.01.011

Diana Patricia Alvarado-Solano
Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira,
Palmira, Valle del Cauca
dpalvarados@unal.edu.co

Joel Tupac Otero-Ospina
Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira,
Palmira, Valle del Cauca
jtoteroo@unal.edu.co

Áreas naturales de bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia: una oportunidad para la restauración

Citación del artículo: Alvarado-Solano, D. P. y J. T. Otero-Ospina. 2017. Áreas naturales de bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia: una oportunidad para la restauración. *Biota Colombiana* 18 (Suplemento 1): 9-34. DOI: 10.21068/c2017.v18s01a01.

Recibido: 12 de noviembre de 2015

Aprobado: 10 de enero de 2017

Lectura de un paisaje estratificado: propuesta de restauración basada en el ordenamiento multi-escala de las cañadas en la mesa de Xéridas, Santander, Colombia

Reading a stratified landscape: restoration proposal based on the multi-scale ordination of the canebrakes at Mesa de Xéridas, Santander, Colombia

Germán Camargo-Ponce de León y Laura G. Agudelo-Álvarez

Resumen

En el gradiente vertical del altiplano de Xéridas a los cañones del bajo Chicamocha y el alto Sogamoso se identifican tres paisajes: altiplano, valles colgantes y cañón, correspondientes a escenarios socioecosistémicos. Se realiza una caracterización del medio físico, la vegetación y los sistemas de alteridad que conforman dichos escenarios. La revisión de la historia de alteración del período prehispánico a hoy y los patrones de alteración resultantes, indican diferentes formas de alteración que se superponen históricamente en un sistema que puede leerse como un paisaje estratificado con una trayectoria degradativa que continúa en el presente. El modelo de restauración para el área de estudio se construye en tres escalas, macro, media y micro: paisaje, microcuencas, predios. Se persigue introducir en cada escala una trayectoria regenerativa que apunta al equilibrio dinámico entre compartimentos de conservación, regeneración, producción y habitación, articulados en torno a los corredores verticales de las cañadas y orientada por la justicia en el uso y la conservación del agua entre tierras altas y bajas.

Palabras clave. Bosque seco tropical. Chicamocha. Corredor ecológico vertical. Herramientas de paisaje.

Abstract

Along the vertical gradients from the Xeridas plateau to the canyons of the lower Chicamocha and the upper Sogamoso rivers, three landscapes are identified: high plateau, hanging valleys and canyon, corresponding to socio-ecosystemic scenarios. Physical environment, vegetation and degree of alteration of the systems that conform these landscapes are described. The history of disturbance from prehispanic to present times and the resulting patterns of ecological change point to a sequence of different means of transformation that overlap historically in this system, and that can be interpreted as a stratified landscape with a trend of degradation that continues today. The restoration model is constructed at three scales, macro, mid and micro: landscape, micro-drainages, and individual properties. The objective is to introduce at each scale a regenerative trajectory aiming to restore a dynamic equilibrium between the components of conservation, regeneration, production and shelter articulated along vertical corridors of the canyons and oriented by fair water use and conservation by highlands and lowlands.

Key words. Chicamocha. Ecological restoration. Landscape tools. Tropical dry forest. Vertical ecological corridor.

Introducción

Los bosques secos han sido uno de los ecosistemas de preferencia para el asentamiento humano en los trópicos (Pizano y García 2014, Ardila 2015) y acumulan una larga historia de alteración que dificulta la estimación de su extensión original y que contrasta con la escasa información disponible sobre su regeneración y otros aspectos claves para su restauración (Ceccon 2013, Pizano y García 2014).

En las condiciones ambientales extremas de los bosques secos interandinos las cañadas han sido escenarios claves para la supervivencia y la adaptación, lugares privilegiados para la vecindad de los asentamientos humanos (Ardila 2015), donde el severo régimen de sequedad, erosión y radiación se mitiga (Vodde *et al.* 2010, Brown *et al.* 2011).

Aquellos paisajes que acumulan diferentes momentos de ocupación y por tanto, de transformación, pueden ser concebidos para su restauración como escenarios altamente degradados (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007), o de manera alternativa, como paisajes estratificados (*layered landscapes*), siguiendo a Hourdequin y Havlick (2015), en el sentido de la valoración de la interacción y moldeado recíprocos e históricos entre los seres humanos y la naturaleza.

Para analizar dicha interacción en el presente, se ha elegido el abordaje desde los socioecosistemas, entendidos como aquellas unidades biogeofísicas que tienen asociado un sistema social e instituciones (Martín-López *et al.* 2012); a su vez, los socioecosistemas pueden ser delimitados a partir de la identificación de los diferentes sistemas de alteridad interactuantes, entendidos éstos como formas característica de ocupación, percepción, uso y transformación del territorio por parte de un grupo humano socioeconómicamente diferenciado (Camargo 2004).

Los socioecosistemas son considerados sistemas complejos y adaptativos en la acepción de Holling (2001): históricos, no lineales, emergentes, multiescalares y autorganizados. En esta medida, una

propuesta de restauración basada en esta unidad de análisis debe ser así mismo multiescala.

La interacción de los diferentes sistemas de alteridad en las condiciones biogeofísicas de cada socioecosistema produce un patrón de alteración característico que implica una acumulación de perturbaciones, formas de suspensión y desviación de la regeneración natural. La lectura de dicho patrón de alteración permite identificar si la trayectoria dominante de los escenarios socioecosistémicos es degradativa o regenerativa, en términos del equilibrio entre el manejo adaptativo y adecuado de las condiciones ambientales (Holling 2001).

El modelo de restauración multiescala en un ambiente con un trayectoria de alteración extensa (antigua y presente) como la mesa de Xéridas, apunta a un equilibrio dinámico espacial entre los siguientes compartimentos (siguiendo a Odum 1969, Brown y Lugo 1994): compartimentos maduros (o sucesionalmente avanzados), compartimentos en regeneración, compartimentos en explotación y aquellos convertidos o habitados.

El objetivo de este artículo es presentar el acercamiento técnico y conceptual interdisciplinario empleado para la construcción de un modelo de restauración multiescala; el modelo se concentra en la recuperación de los procesos ecológicos encadenados altitudinal y socioterritorialmente y pretende ser útil para responder a las preguntas de qué, cómo y dónde restaurar en zonas semiáridas interandinas donde los socioecosistemas reflejan una extensa historia de alteración antrópica.

Material y métodos

Área de estudio

La mesa de Xéridas es un altiplano que se eleva desde los 300 m s.n.m. en el fondo del cañón del Sogamoso, o los 500 m s.n.m., en el cañón del Chicamocha, hasta los 1600 – 1810 m s.n.m en las partes altas

(Alto de Tabacal). Los profundos cañones que la rodean conforman un cinturón casi continuo de bs-T

(Figura 1): por el norte, el valle del río de Oro; por el oriente, el cañón del río Manco; por el sur, el curso bajo del río Chicamocha, entre la desembocadura del Manco (Pescadero) y la unión del Suárez con el Chicamocha (Las Juntas); y por el occidente, el curso alto del río Sogamoso (que se forma por la unión del Suárez y el Chicamocha), entre Las Juntas y desembocadura de la quebrada El Monte.

La mesa de Xéridas abarca, en orden de extensión, a los municipios de Los Santos, Piedecuesta y Girón. Los dos últimos hacen parte del área metropolitana de Bucaramanga, ciudad núcleo ubicada a sólo 24 km del altiplano (40 minutos en auto particular).

Caracterización biofísica

El proyecto partió de la caracterización física y biótica de las cañadas, con el fin de recabar información sobre la regeneración y la oferta de hábitat para la

biodiversidad y para documentar los remanentes que pudieran ofrecer una aproximación al ecosistema de referencia.

Durante los meses de marzo y abril de 2014 se eligieron cuatro microcuencas que reflejaran las condiciones típicas de las cañadas de la mesa de Xéridas en términos geológicos, geomorfológicos, hidráulicos y socioeconómicos. Las microcuencas elegidas fueron: Lajas, Totumera (afluente de la anterior), Mojarra y Carrizal.

De manera adicional, para la construcción del ecosistema referencia, se ubicaron unidades de muestreo en el pie de un par de cinglas (escarpes) en los sectores denominados Piedra del Rayo y El Cobre. En tres sectores altitudinales en el curso de las cañadas elegidas, se estableció un punto de referencia en el fondo de la cañada y otro en la ladera anexa. Estos puntos se denominaron “centroides”. En torno a ellos en un área estimada de 400 m de radio, se ubicaron las diferentes unidades de muestreo según el grupo biológico a caracterizar (*i.e.* parcelas, transectos).

Figura 1. Localización del área de estudio, mesa de Xéridas, municipios Girón, Piedecuesta y Los Santos, Santander.

Las localidades de muestreo se encuentran en cuatro zonas de vida: bosque seco tropical (bs-T), bosque seco premontano (bs-PM), bosque húmedo premontano (bh-PM), y bosque húmedo montano bajo (bh-PM).

Con el centroide como referencia se establecieron tres parcelas de 20 m x 5 m, de modo que tanto en el fondo de la cañada como en la ladera anexa, se pudieran diferenciar *a priori* tres momentos sucesionales distintos (“priseral” mayor perturbación, “tardiseral” dosel más continuo, y situación intermedia). Esto como insumo para realizar las series de vegetación necesarias en el modelo de restauración. Se realizaron en total 153 parcelas de vegetación (67 en las microcuencas y escarpes mencionados arriba, 24 más en otros bosques al interior de la mesa de Xéridas y 62 en bosques del cañón del Chicamocha en los municipios de Jordán y Aratoca). En cada parcela se escogieron todas las plantas por encima de un metro de alto y se hizo el levantamiento de todos los individuos (independientemente del Diámetro a la Altura del Pecho-DAP). En la esquina de cada parcela se realizó un subcuadrante inicial de 2 m x 2 m para caracterizar el estrato herbáceo; en este subcuadrante no se hace inventario de todos los individuos sino que se calcula el índice de cobertura/abundancia de Braun-Blanket. La información de los levantamientos de vegetación se completó con la información disponible de levantamientos realizados por Albesiano-Hoyos *et al.* (2003).

A partir de la imagen satelital de alta resolución disponible de manera gratuita en el programa Google Earth Pro (diciembre 2014 CNES/Astrium y enero 2015 Digital Globe), se fotointerpretaron las coberturas para la identificación de los tipos fisonómicos de vegetación (pe. Bosque bajo) a una escala 1:10000. Mediante análisis de agrupamiento con base en el índice de Jaccard se clasificaron los levantamientos de vegetación a partir del índice de valor de importancia de las especies en los levantamientos. Una vez definidos los tipos de vegetación y destacadas las especies dominantes, se analizó la localización de los levantamiento tipo y

la historia de perturbación conocida de cada lugar, para identificar la asociación ambiental y sucesional de los tipos fisonómico-florísticos (Anexo 1).

Sistemas de alteridad

A partir de la información secundaria y la experiencia de la Fundación Guayacanal en el área, se identificaron los principales sistemas de alteridad o modos de vida (Camargo 2004). Con base en entrevistas semiestructuradas con los distintos actores, observación participativa y a la luz de la interpretación de imágenes satelitales, se preparó una caracterización de estos patrones de ocupación y uso, en relación con el medio biofísico. A partir de las visitas, la interpretación de imágenes satelitales y los muestreos de la caracterización biofísica, se evaluó el régimen de tensionantes y el patrón de alteración resultante de cada modo de vida.

Elaboración del ecosistema de referencia

El primer paso consistió en la construcción de un modelo para entender la estructura espacial de la oferta física para la regeneración y para la distribución ambiental de las biocenosis, los ecosistemas y los sistemas de alteridad. Se partió de un marco de paisaje definido por variables climáticas, geológicas y de grandes geoformas. Al interior se diferenciaron unidades menores según geoformas detalladas y condiciones de sustrato e hidrología asociadas.

Como una segunda entrada se adelantó una reconstrucción general del patrón histórico de ocupación y alteración. En esta reconstrucción se identificaron los principales cambios demográficos, económicos, técnicos y culturales que pudieron generar cambios notables en el medio biofísico. La historia de alteración es una pieza necesaria para evaluar las diferencias más probables entre los remanentes actuales y un estado pre-disturbio (Ceccon 2013). Dicha reconstrucción trajo como resultado la interpretación de los escenarios socioecológicos actuales y el análisis de su régimen de tensionantes y los patrones de alteración acumulados, en curso y en prospectiva.

A partir de la clasificación aglomerativa de los levantamientos de vegetación propios y de aquellos realizados en el área por otros investigadores (Albesiano-Hoyos *et al* 2003), se definieron los principales tipos de vegetación, interpretándolos en términos de su asociación a las unidades del modelo biofísico, los regímenes de tensionantes y los patrones de alteración del medio antrópico.

Al ordenar las principales comunidades vegetales sobre el encadenamiento vertical de zonas biofísicas, se generó un modelo de distintas formas y etapas de regeneración correspondientes a diferentes situaciones ambientales, desde el altiplano y los valles colgantes hasta el cañón. Así construido, el modelo de ecosistema de referencia permitió orientar el diseño de los tratamientos y tipologías de restauración.

Formulación del modelo de restauración

El ecosistema de referencia se asumió de modo relativo dados los vacíos e incertidumbres que impiden establecer un estado predisturbio y a la luz de la larga y severa historia de alteración. Además, en la formulación del modelo de restauración se consideraron otros factores tales como la viabilidad técnica, social y económica, la reversibilidad de determinadas transformaciones y las prioridades e intereses de los diferentes actores (Murcia y Guariguata 2014).

Con un enfoque de ecología del paisaje (Cotler *et al.* 2004, Lozano-Zambrano 2009), el modelo parte de la escala macro para diferenciar grandes paisajes o escenarios socioecológicos y formular a esa escala las intervenciones necesarias para corregir la trayectoria degradativa actual. En la escala media se establecen las herramientas de manejo del paisaje concentradas en la conservación y gestión del agua; en la escala micro (predio), se maneja la sucesión mediante la incorporación de tipologías de restauración y el ajuste en las formas de ocupar y manejar los ecosistemas por parte de cada sistema de alteridad.

Resultados

Modelo del medio físico

El modelo del medio físico es una representación gráfica de la estructura del ambiente físico sobre el perfil de la catena geomórfica (Figura 2).

Para las cañadas de la mesa de Xéridas se identificaron 14 zonas físicas (Figura 2). Cada una de estas zonas físicas representa una combinación diferente de condiciones climáticas, tipo de roca, tipo de suelo, hidrología, que condicionan qué ecosistema se desarrolla, cómo responde a las perturbaciones, cómo regenera, así como los sistemas de alteridad que lo ocupan.

En el modelo se diferenciaron tres paisajes en una secuencia vertical. El altiplano, con un moldeado de lomeríos y vallecitos de disección suave, presenta sequías leves y suelos arenosos, lavados y con pendientes moderadas que favorecen la retención y la infiltración. Los vallecitos peor drenados favorecen la acumulación de agua en pantanos estacionales y turberas. La zona de vida corresponde a bosque húmedo premontano. La profundidad efectiva limitada, la favorabilidad al fuego y la baja fertilidad determinan una restricción severa para sucesiones forestales, salvo en algunos escarpes externos que constituyen frentes de condensación y acumulaciones locales de suelos más fértiles en parches y en corredores riparios. Esto determina el paisaje general de sabanas, parches de bosques y matorrales y bosques de galería que aún hoy predomina en el altiplano. El altiplano está completamente rodeado de escarpes (cinglas), en forma de paredes rocosas homogéneas o escalonadas con pequeñas terrazas con exurgencias puntuales de aguas infiltradas del altiplano.

El pie del escarpe o pie de cingla es el inicio de los valles colgantes correspondientes a los niveles de disección del altiplano miocénico (Ingeominas 2001, Alcaldía de Los Santos 2003). Estos valles ofrecen suelos moderadamente profundos y fértiles, producto heterogéneo del transporte y mezcla de los materiales minerales y orgánicos procedentes del altiplano y las

cinglas. Las cañadas son más profundas que en el altiplano, con barrancos y terrazas rocosos y atraviesan los depósitos heterométricos de coluvión del fondo de cada valle. La zona de vida corresponde a bosque seco premontano. Aunque el balance hídrico es más bajo que en el altiplano (Díaz *et al.* 2009), los valles colgantes se benefician de las aguas superficiales y geológicas procedentes del mismo. Los principales depósitos son los pies de cingla y los coluviones, al inicio y el final de las laderas. La mayoría de los valles terminan en una fuerte discontinuidad litológica y geomórfica en el punto donde se encuentran con la erosión remontante de las gargantas que ascienden desde el cañón.

El paisaje de cañón está compuesto por grandes y pequeñas gargantas que emergen en medio del frente conformado por los escarpes bajos y las laderas empinadas que caen hasta el fondo del río. La erosión remontante se manifiesta en conos de deslizamiento y sistemas de cárcavas que se concentran en determinados sectores de la parte baja del cañón. El clima en este paisaje se caracteriza por la alta radiación, la sequía intensa, la escasez de las precipitaciones. El

balance hídrico se reduce aún más por la limitación para la retención en sustratos someros con pendientes fuertes. Las principales acumulaciones de sustrato y humedad se forman en el fondo de las cañadas, los pies de cingla y la base de los derrubios.

La oferta física y su variación espacial a lo largo del gradiente vertical es el primer determinante para los procesos ecológicos (Valencia-Duarte *et al.* 2012), y así mismo, para la ocupación humana. Entonces, comprender el medio físico es el punto de partida para la construcción del modelo ecológico sobre el cual se diseñan los tratamientos de restauración.

Ecosistema de referencia: comunidades vegetales en el gradiente físico altitudinal

Se resumen de manera gráfica los principales rasgos de fisonomía y composición de los tipos de vegetación natural caracterizados (Figuras 3, 4 y 5). Los diagramas corresponden a una situación hipotética en que cada tipo de vegetación se extendiera sobre su ambiente físico asociado, sin elementos artificiales, como una aproximación al ecosistema de referencia.

Figura 2. Modelo del medio físico.

Figura 3. Ecosistema de referencia para el altiplano de la mesa de Xéridas.

Una caracterización fitosociológica más completa se presenta en el Anexo 1.

El paisaje de altiplano (Figura 3) se caracteriza por una matriz dominante de sabanas sobre oxisoles lavados limitados por roca y laterita, con abundantes elementos leñosos en forma de parches boscosos, agregados leñosos, árboles y arbustos dispersos y bosques de galería en los vallecitos entre los lomeríos. Localmente se presentan suelos turbosos azonales sobre los que se desarrollan parches mayores de bosque de turbera y pantanos estacionales de graminoides. Los escarpes del borde norte del altiplano presentan bosques de niebla premontanos y montano bajos, más afines a los de Santurbán – Almorzadero que al paisaje general de la mesa de Xéridas. Los escarpes o cinglas presentan matorrales rupestres que incluyen pequeños parches de bosques achaparrados.

En los valles colgantes (Figura 4) el máximo potencial para una sucesión forestal se concentra en las franjas de acumulación: los pies de cingla y los coluviones y cañadas al fondo de los mismos.

El bosque de pie de cingla de la mesa de Xéridas presenta una composición que combina elementos de los bosques pirófilos del altiplano y de bosques premontanos mejor conservados con elementos de los cafetales y cacaotales abandonados. Los bosques riparios de las cañadas medias tienen una composición secundaria, con algunas rarezas que probablemente reflejan comunidades vegetales del pasado y mezcla con elementos del bosque pirófilo facilitada por sucesivos eventos de perturbación y regeneración.

En el cañón propiamente dicho la vegetación hoy predominante corresponde a pajonales limpios, pajonales arbustivos y extensos parches de matorrales de *Lippia origanioides*. La mayor parte de los parches forestales corresponde a bosques bajos con *Prosopis juliflora*, localmente llamados “bagarizales”. Estas coberturas están relacionadas con el régimen de fuego y pastoreo caprino (Albesiano-Hoyos *et al.* 2003, Valencia-Duarte *et al.* 2012).

Por la extensa historia de alteración, no es posible definir un ecosistema primario de referencia. Las diferentes asociaciones vegetales reflejan la superpo-

Figura 4. Ecosistema de referencia para los valles colgantes de la mesa de Xéridas.

Figura 5. Ecosistema de referencia para los cañones que rodean la mesa de Xéridas.

sición intensa de distintos eventos de perturbación y regeneración que han llevado a la conformación de un mosaico de comunidades secundarias: eriales, pajonales subxerófilos, matorrales, bosques bajos, pioneras dispersas en conos de deslizamiento o en focos de carcavamiento. Las asociaciones florísticas son aparentemente contingentes, en la medida en que los elementos comunes son mayoritarios y la distribución de cada especie entre los pajonales, matorrales y bosques bajos parece más determinada por su respuesta individual al régimen de perturbaciones.

Socioecosistemas resultantes del patrón de ocupación en el gradiente altitudinal

Cada ambiente definido por el desarrollo del ecosistema sobre el gradiente físico da lugar a una capacidad de acogida diferente que ha determinado las formas de uso, ocupación y su distribución espacial.

Se diferencian tres escenarios socioecológicos correspondientes a los tres paisajes del medio físico (Figura 6). En cada uno de estos escenarios socioecológicos se combinan determinados sistemas de alteridad que generan un régimen de tensionantes sobre un ambiente biofísico particular, resultante de la interacción de los distintos modos de vida allí presentes.

Cada sistema de alteridad produce un régimen de tensionantes característico. La combinación determina el régimen total de tensionantes por escenario (Tabla 1).

Resumen de la historia de alteración

En la historia de alteración (Tabla 2) se superponen períodos de fuerte desarrollo demográfico y económico con perturbación intensa de las coberturas y suelos (Arenas 2004, Ardila 2015), alternados

Figura 6. Escenarios socioecológicos identificados en la mesa de Xéridas: altiplano, valles colgantes y cañón. Las líneas de colores delimitan los ambientes en donde más incide cada sistema de alteridad o modo de vida que interactúa en el socioecosistema. Por ejemplo, la línea roja bordea los ambientes transformados por la parcelación suburbana de altiplano; la línea naranja los ambientes con que se relaciona la finca campesina de valle colgente. Una mayor cantidad de líneas muestra los ecosistemas más presionados, que en este caso, corresponden a los del altiplano.

[illegible]

con otros favorables a la regeneración. Es muy probable que períodos prolongados de alteración fuerte y duradera afecten la regeneración en formas permanentes. En tal caso, la regeneración en cada intervalo de despoblamiento habrá diferido en mayor o menor grado de la ocurrida en el anterior.

En cada uno de los paisajes actuales del altiplano a los valles y el cañón se pueden reconocer distintas mezclas de elementos persistentes de:

- Los asentamientos agrícolas guanes perpetuados en asentamientos campesinos con patrones similares en todo el gradiente altitudinal.
- La introducción hispánica del ganado bovino en el altiplano y el caprino en valles y cañón.
- La expansión de los emporios agrícolas del Siglo XIX y principios del XX en altiplano y valles.
- La hegemonía tabacalera de los siglos XVIII al XX en todo el gradiente altitudinal.
- La agricultura de percederos impulsada por la revolución verde y el crecimiento del mercado metropolitano de Bucaramanga.
- La expansión de la industria avícola de mediados y finales del Siglo XX, con sus galpones, barreras forestales, embalses y desecación de humedales y quebradas.
- La introducción de pastos mejorados impulsados por la producción local de gallinaza y el paso del pastoreo extensivo de sabanas con fuego a la rotación de potreros fertilizados.
- La expansión de las parcelaciones suburbanas y el turismo impulsada por el crecimiento metropolitano de Bucaramanga.

Esta mezcla sugiere que los paisajes actuales pueden interpretarse como la estratificación de diferentes patrones de ocupación y alteración (*sensu* Hourdequin y Havlick 2015), cada uno perpetuado en mayor o menor medida por la persistencia de las perturbaciones y las desviaciones de la regeneración.

Patrones de alteración

El régimen de tensionantes característico para la mesa de Xéridas (Tabla 2), produce en el tiempo patrones de alteración propios de cada escenario (Figura 7).

En el patrón de alteración del altiplano dominan la fragmentación y secundarización progresiva de los remanentes de bosques de niebla y bosques de galería, el reemplazamiento de las sabanas naturales por pastos introducidos, la desecación y contaminación hídrica de las cuencas altas y humedales y la expansión de jardines y prados arborizados de las parcelaciones (Figura 7). Todos estos procesos son parte de la dinámica territorial suburbana, donde la mezcla de agroindustria, vivienda y comercio se superpone a los elementos persistentes del pasado, artificiales y naturales: fincas campesinas, fincas cafeteras, sabanas naturales y remanentes forestales.

En los valles colgantes, la fragmentación y secundarización de los bosques riparios y de pie de cingla, bajo las presiones agrícolas, se suma a la desecación de las quebradas para riego, la severa contaminación por agroquímicos. Los bosques remanentes reflejan la superposición histórica de los cultivos de sombrío (café y cacao) y sucesivos eventos de tala, quema y regeneración. El patrón general de reemplazo de la regeneración forestal del bosque seco premontano por matorrales subxerofíticos secundarios y sabanas xerófilas y especies invasoras, conlleva la acumulación de suelos y caudales agotados en cada valle.

En el cañón, la desecación de las quebradas determina la desaparición paulatina de los bosques secos riparios, la expansión de los matorrales subxerofíticos y los bosques bajos de *Prosopis* incluso al fondo de las cañadas. Las mismas formaciones más los pajonales de la sabana xerófila secundaria tienden a reemplazar gradualmente los fragmentos de los bosques secos secundarios de ladera, creando un paisaje general de subxerofitia secundaria de muy baja diversidad, generado y mantenido en gran parte por el pastoreo extensivo caprino.

Tabla 2. Resumen de la historia de alteración reconstruida para la mesa de Xéridas, Santander. Fechas aproximadas. Fuentes: Arenas (2004), Ardila (2015), Amando Martínez (com. pers. 2016), Monica Giedelman (com. pers. 2016).

Periodo	Paisajes dominantes	Demografía	Régimen de tensionantes	Patrón de alteración resultante
Pre-chibcha (hipotético) (10000 - 3000 AP)	Clima más húmedo que el actual. Sucesiones forestales con bosques de distinto porte, con excepción del altiplano. Altiplano con sabanas con parches y corredores riparios de bosque. Matorrales y bosques achaparrados, confinados a los afloramientos rocosos, escarpes y focos erosivos naturales.	Cazadores-recolectores y pequeños horticultores. Escasa densidad poblacional estable.	Pesca Leñería Asentamientos transitorios en las vegas y terrazas del río Chicamocha. Trasegar humano.	No es factible determinarlo por la escasez de información ecológica y antropológica sobre este período, pero puede asumirse como mínimo e irrelevante, con un predominio de los tensionantes naturales y una resiliencia más alta gracias a mayores masas vegetales, mejores suelos y un clima menos severo que el actual.
Guane (2500 AP)	Mosaico de sabana arbustiva, humedales y bosques de galería en el altiplano. Mosaico de bosques rastrojos y cultivos en los valles. Bosque seco tropical con parches subxerofíticos y enclaves de cultivos de pancoger.	Auge de poblamiento de los Guane. Centro del cacicazgo del cacique Guanentá.	Agricultura intensiva de tumba y quema (maíz, tabaco, algodón, frijol, calabazas, yuca, arracacha, fique, cacao y ají) en enclaves de suelos más favorables por profundidad efectiva, fertilidad e irrigación natural, en algunos casos, canales de riego (Ardila 2015).	Transformación de coberturas en valles colgantes, terrazas y vegas del río Chicamocha y vallecitos del altiplano; afectación de suelos sobre las geoformas acumulativas por situación y pendiente.
Invasión europea (Siglo XVI)	Regeneración de la vegetación en áreas tradicionalmente habitadas y cultivadas por los guane.	Colapso poblacional.	Entrada de ganadería bovina y caprina. Tabaco como primer monocultivo comercial en minifundios mestizos y haciendas españolas. Agricultura confinada a enclave edáficos favorables.	Alteración de nuevas extensiones de suelo y nuevas coberturas con la capricultura. Intensificación del ciclo natural del fuego y pastoreo en las sabanas del altiplano. Expansión de especies oportunistas en áreas de habitación y cultivo guane.
Colonia		Recuperación demográfica tardía.	Leñería en los enclaves agrícolas y zonas de extracción vecinas. Extensión de ganadería bovina en el altiplano y caprina en el cañón.	Disgénesis y fragmentación de los bosques riparios y pies de cingla más accesibles. Pastoreo extensivo en altiplano y cañón.
Primera República (Siglo XIX)	Mosaico de sabanas, bosques pirófilos y humedales en el altiplano. Mosaico de parches de cultivo y de regeneración en los valles. Bosque seco secundario en el cañón.	Colapso económico y demográfico. Recuperación demográfica y económica. Nuevo colapso demográfico: guerra de los mil días (1899-1902).	Monocultivos de exportación (caña, tabaco, café, cacao, algodón). Mesa de Xéridas centro de tránsito y comercio de las quinas y otros productos extraídos del Magdalena medio. Entresaca selectiva. Extracción forestal comercial, afectando maderas finas de construcción, ebanistería, taninos y navales. Introducción de pastos africanos.	Disgénesis y fragmentación de bosques riparios y pies de cingla de rodales cada vez más inaccesibles. Alteración de las sabanas del altiplano. Potrerización de ecosistemas riparios del altiplano.

Periodo	Paisajes dominantes	Demografía	Régimen de tensionantes	Patrón de alteración resultante
Siglo XX - XXI	<p>Matriz dominante de potreros arbolados con pastos y forestales introducidos. Parcelaciones sub-urbanas extensas sectorizadas con creciente densidad de setos y jardines.</p> <p>Parches y cordones reducidos de vegetación nativa de sabanas y bosques secundarios.</p> <p>Mosaico de parches de regeneración y cultivos en los valles colgantes.</p> <p>Bagarizales y matorrales subxerofíticos secundarios en parches extensos en una matriz de pajonales arbustivos, en el cañón.</p>	<p>Leve recuperación demográfica durante la primera mitad del siglo XX.</p> <p>Colapso demográfico: la violencia liberal-conservadora (1946-1958).</p>	<p>Recuperación del sistema de haciendas y minifundios</p> <p>Recuperación de las haciendas ganaderas en el altiplano y los minifundios tabacaleros y las cabrerías en los valles y el cañón.</p> <p>Avicultura en el altiplano. Segunda mitad del siglo XX.</p> <p>Embalse de nacimientos y humedales.</p> <p>Excedente de fertilizante orgánico.</p> <p>Cordones de coníferas y eucaliptos como barreras cortaviento para los galpones y cercas vivas para los potreros.</p> <p>Introducción de agroquímicos y mecanización de agricultura campesina: revolución verde.</p> <p>Expansión suburbana como consecuencia del crecimiento demográfico, económico y espacial del área metropolitana de Bucaramanga.</p>	<p>Sabanas limpias de elementos leñosos en el altiplano.</p> <p>Matorrales y eriales en antiguas coberturas boscosas de valles colgantes y cañón.</p> <p>Agotamiento y contaminación de quebradas y humedales.</p> <p>Expansión de pastos introducidos en el altiplano.</p> <p>Expansión de monocultivos en los valles colgantes.</p> <p>Aceleración y expansión de la entresaca.</p> <p>Expansión del área cultivable sobre otros suelos antes subutilizados.</p> <p>Aumento de la población en el altiplano. Gran población flotante (turismo).</p>

Figura 7. Patrones de alteración en la mesa de Xéridas. Ver figura 6 para identificar los ambientes transformados.

Modelo multiescala de restauración para la mesa de Xéridas

La acumulación de suelos y coberturas degradados, junto con la contracción de los ecosistemas naturales proveedores de servicios ecosistémicos refleja una trayectoria degradativa. No siendo posible suspender los usos que la generan, es necesario intervenir a distintas escalas para corregir la trayectoria. El modelo propuesto apunta a generar una trayectoria regenerativa con una estrategia en cada escala:

- Escala macro: lineamientos para el ordenamiento territorial en los EOT y POMCAs, priorizando áreas de preservación y restauración y orientando los usos y sus formas.
- Escala media: aplicando herramientas del paisaje para organizar una estructura ecológica por microcuenca, hecha de corredores que enlazan núcleos fuente y de regeneración.

- Escala micro: donde las tipologías de restauración y algunas herramientas biomecánicas se organizan dentro de un esquema de ordenamiento a escala predial.

En la escala macro, se presenta la propuesta de ordenamiento para la mesa de Xéridas y las cuencas que la rodean (Figura 8).

En la escala media la estrategia se concentra en la organización de herramientas de paisaje para conformar una estructura ecológica de microcuenca, entendidas como aquellas acciones que se superponen en un paisaje dado para promover los cambios físicos (pero también sociales), que favorecerán la recuperación y la permanencia de la biodiversidad (Lozano-Zambrano 2009). El modelo se concentra en la recuperación y protección del corredor vertical de cañada conformado por los humedales del altiplano, nacimientos y los distintos tipos de bosque ripario (Figura 9).

Figura 8. Modelo de restauración escala macro.

Figura 9. Modelo de corredor ecológico de cañada escala media. Corresponde a la localización de los tratamientos a nivel de microcuenca en el área de ejecución piloto del proyecto Xéridas.

En la escala micro la propuesta entra en la escala predial y por tanto en la del diseño de restauración y el ordenamiento de las herramientas dentro de la espacialidad propia de cada sistema de alteridad: finca campesina, finca ganadera, parcelación, granja avícola, etc.

Es a esta escala que se pueden impulsar sucesiones e impulsar procesos hidrológicos y de recuperación de suelos. Es también a esta escala que la conectividad y el hábitat demuestran su funcionalidad.

La aplicación para finca campesina de valle colgante (Figura 10) ilustra la estrategia. Los diseños específicos de restauración en cada caso combinan seis elementos principales:

- 1) Liberar barreras en puntos y franjas donde los limitantes ya son, de partida, menos severos.
- 2) Tipologías de restauración basadas en arreglos florísticos y patrones espaciales de la regeneración natural de cada ambiente del gradiente.

- 3) Equilibrar los espacios de conservación, regeneración, producción y habitación dentro del predio.
- 4) Armar corredores aprovechando los elementos lineales: vías, senderos, linderos, drenajes.
- 5) Priorizar el agua: la inclusión de prácticas de ahorro, protección y uso racional del agua.
- 6) Activar el cambio social: impulsando el empoderamiento de la mujer y la participación de todo el núcleo familiar para promover la evolución de las percepciones, decisiones y prácticas en dirección del bienestar colectivo y el cuidado amoroso de las personas y la tierra.

Las tipologías incluyen arreglos agroforestales y núcleos y corredores de restauración, como el que se presenta en la siguiente figura para los corredores de cañada en los predios que colindan con los principales drenajes (Figura 11).

Figura 10. Modelo básico de restauración escala micro. Ejemplo: finca campesina de valle colgante (1 – 5ha aprox.).

Figura 11. Ejemplo de tipología variable para la restauración del bosque ripario de las cañadas medias. Paisaje campesino de valles colgantes. A) arbolitos y arbustos riparios. B) especies dominantes del bosque de cañada. C) especies raras o amenazadas. D) dominantes del bosque de ladera. E) especies resistentes al fuego y pastoreo.

Discusión

Cada uno de los tres paisajes que se diferencian marcadamente en el gradiente físico vertical determina el desarrollo de comunidades vegetales muy distintas y condiciones de regeneración así mismo diferenciadas con un fuerte encadenamiento vertical de los procesos biofísicos que se concentran en las cañadas. Estos ambientes han determinado distintas formas de ocupación y uso a lo largo de la historia que han acentuado la diferenciación en socioecosistemas correspondientes.

El análisis de las coberturas y los patrones de alteración muestra que la situación actual no es resultado sólo del régimen de tensionantes actual o reciente sino que refleja un largo historial de perturbaciones, eventos de regeneración, desaparición, modificación, persistencia o introducción de distintos elementos físicos, bióticos y culturales. En tales condiciones la selección de un estado pre-disturbio como ecosistema de referencia pierde viabilidad y utilidad.

El concepto de “paisaje estratificado” propuesto por Hourdequin y Havlick (2015) corresponde mejor a la situación de la Mesa de Xéridas y el cañón del bajo Chicamocha – alto Sogamoso pues: 1) existe una historia larga y compleja de disturbios, 2) muchos de los cambios acumulados son irreversibles (p.e. la entresaca selectiva de los bosques más cercanos a los centros de poblamiento y los pastos introducidos) y 3) el sistema actual tiene también un valor como resultado histórico. Así, en el altiplano se combinan los suelos y las geoformas del Mioceno con las sabanas del pleistoceno, los bosques del holoceno, elementos del paisaje cafetero y ganadero de los siglos XIX y XX y la suburbanización actual. En los valles y el cañón vemos superposición de formas y espacios de producción y habitación de los guanes que han perdurado a través de los sistemas campesinos que los tomaron como base. Los rastrojos y bosques son producto de varios episodios de perturbación y regeneración bajo distintos regímenes de tensionantes, desde la agricultura indígena, a la ganadería hispánica y la finca modernizada por la motobomba, la motosierra y los agroquímicos de la revolución verde.

En este contexto, la restauración más que la semblanza de un estado pretérito debería perseguir el mejoramiento del equilibrio entre cambio y conservación en un mosaico ecosistémico profundamente humanizado: ¿qué elementos deberían mantenerse, fortalecerse o recuperarse y cuáles controlarse o modificarse para la armonización y viabilidad del socioecosistema?

Según Brown y Lugo (1994) un modelo de desarrollo es sostenible en la medida en que es capaz de restaurar los daños producidos y balancear los espacios convertidos, productivos o en regeneración, en un modo tal que no se produzcan y acumulen espacios degradados. Como pudo verse en la lectura del patrón de alteración, en la mesa de Xéridas se confirma una trayectoria degradativa de los escenarios sociambientales en tres aspectos: 1) la acumulación de espacios degradados como los eriales, los pajonales y los matorrales subxerofíticos secundarios; 2) la contracción y fragmentación de los ecosistemas generadores de servicios (p.e. humedales, y bosques riparios) en desproporción frente a la expansión de los compartimentos demandantes (agroindustria, parcelaciones suburbanas); 3) la irreversibilidad de gran parte de la degradación acumulada (extinciones locales, erosión, destrucción de humedales y suelos de recarga).

Estos aspectos sugieren fallas adaptativas en los modos de vida y de producción presentes en la mesa de Xéridas, en relación con las determinantes biofísicas del altiplano y los cañones que lo rodean. Adicionalmente, el abrupto gradiente altitudinal y las crecientes oscilaciones climáticas determinan un encadenamiento causal del altiplano a los valles medios y al cañón que transmite sin amortiguación los tensionantes de las partes altas, húmedas y de alta renta a las partes bajas, secas y campesinas socioeconómicamente deprimidas. Esto redundará en un círculo de degradación del bosque seco tropical y de las condiciones de vida de sus habitantes.

Se plantea que estos desajustes intrínsecos en la adaptación ecológica de los grupos locales que ya comprometen la viabilidad del socioecosistema,

reciben una presión adicional significativa de dos fuentes: los efectos locales del cambio climático global y los cambios socioeconómicos en el territorio, principalmente la presión creciente de la suburbanización y la avicultura sobre el recurso hídrico y los ecosistemas fuente. Los desequilibrios geográficos tienden a acentuarse en la medida en que las tierras bajas (sobre todo en bosque seco tropical) son más sensibles por su fragilidad socioeconómica y por su posición en las microcuencas. Situación común a otros valles y cañones áridos en Colombia, como Santafé de Antioquia, en el cañón del río Cauca antioqueño (Montoya *et al* 2016).

Son más ecoeficientes aquellos modos de vida con respuestas más adaptativas al entorno pues generan menos cambios y menos entropía. La ecoeficiencia también se puede incrementar en la medida en que las respuestas adecuativas (de transformación) regeneran en lugar de degradar la capacidad del medio para sostener dicho modo de vida. Así, el modelo de restauración propuesto apunta a una reconformación progresiva del socioecosistema en cada uno de los tres paisajes, en la cual se equilibren espacialmente los compartimentos maduros (o sucesionalmente avanzados), en regeneración, en explotación y los convertidos-habitados, en la línea de la “estrategia de desarrollo del ecosistema” planteada por Odum (1969).

Esto se corresponde con el manejo adaptativo propuesto por Holling (2001), pues en cada escenario se busca la implementación de prácticas socialmente viables dirigidas a generar dinámicas regenerativas. El éxito de este enfoque depende fundamentalmente de la articulación multi-escala: una trayectoria regenerativa hacia el equilibrio de compartimentos en las tres escalas.

La recuperación de los procesos ecológicos como el ciclo hidrológico y la regeneración así como la viabilidad socioeconómica de los tratamientos reposan principalmente en la pertinencia y el ordenamiento de las intervenciones en la escala micro, al interior de cada predio y dentro de la lógica espacial y funcional

de cada sistema de alteridad: finca campesina, parcelación, avícola, etc.

Cada predio intervenido con herramientas de paisaje de escala micro, como se demostró en la microcuenca piloto, aporta los elementos necesarios para armar la estructura ecológica de la microcuenca en la escala media. Es en esta escala que se pueden abordar aspectos como el manejo integral del ciclo hidrológico, la conectividad entre los ecosistemas del gradiente vertical y la conformación de un mosaico sucesional balanceado.

Si bien la complejidad de estos sistemas implica que los cambios en la escala micro y media pueden dinamizar el escalamiento de las transformaciones en el manejo ambiental, la incidencia en el ordenamiento territorial municipal es la vía legal para frenar prácticas de manejo abusivo de los recursos naturales.

Las tres escalas se articulan entre sí a través del propósito de armar corredores ecológicos verticales de cañada, concentrando los esfuerzos de restauración en estas franjas que por sí mismas concentran los procesos hidrológicos, la regeneración y la conectividad biológica.

La recuperación del ciclo hidrológico pasa, inevitablemente por una cuestión de equidad. El Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Los Santos señalaba el uso desigual del recurso entre las partes altas y las bajas y secas (Alcaldía de Los Santos 2003). Se trata entonces de equidad entre las comunidades suburbanas de las tierras altas y las campesinas de los valles medios y las tierras bajas del cañón. Pero equidad también entre las necesidades humanas y la preservación de un caudal ecológico, para el sostenimiento de los procesos ecológicos y la biota acuática y terrestre.

En el enfoque propuesto aquí, la restauración se asume como una herramienta de justicia socioambiental y por eso, parte de reconocer una historia de alteración como un diálogo en que las relaciones entre las personas y las relaciones con la tierra se afectan y

se cambian recíprocamente (Hourdequin y Havlick 2015) en la dirección de un cambio degradativo del ser humano y la tierra, o de un cambio regenerativo (Hernández *et al.* 2002, EEM 2005).

En síntesis, en los paisajes altamente estratificados y dinámicos, más que una conservación estática y circunscrita únicamente a los objetivos biológicos se requiere una restauración de la riqueza histórica del mosaico socioecosistémico. La sostenibilidad, bajo este enfoque, es una trayectoria y un equilibrio dinámico entre compartimentos, más que una moderación de la explotación respecto a la capacidad de carga, como un camino medio (Toledo 2005, Naredo y Baggeth-Gómez 2012).

Bibliografía

- Albesiano-Hoyos, A. S., J. O. Rangel-Churio y A. Cadena. 2003. La vegetación del cañón del río Chicamocha (Santander, Colombia). *Caldasia* 25 (1): 73–99.
- Alcaldía de Los Santos. 2003. Esquema de Ordenamiento Municipal. 174 pp.
- Alcaldía de Los Santos. 2012. Plan de Desarrollo Municipal Unidos por mi pueblo. 5 pp.
- Ardila Luna, C. 2015. Paisaje colonial del siglo XVI en el territorio guane, Santander (Colombia). Pp.127–155. *En*: Gallini, S. (Ed.) Semillas de historia ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas, Jardín Botánico José Celestino Mutis. Primera Edición. Colección General Biblioteca Abierta. Bogotá, D. C. 413 pp.
- Arenas, E. 2004. Los Guane, el pueblo de la cingla. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. 214 pp.
- Barrera-Cataño, J. I. y C. Valdés-López. 2007. Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Universitas Scientiarum* Edición Especial II (12): 11–21.
- Brown, S. y A. E. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration Ecology* 2 (2): 97–111.
- Brown, R. D., N. Kenny y R. C. Corry. 2011. Testing the microclimate habitat design framework in abandoned sand and gravel extraction sites using the Karna Blue Butterfly. *Ecological Restoration* 29 (1-2): 52–63.
- Camargo, G. 2004. ¿Quién ordena el territorio? Una respuesta desde la ecología humana basada en sistemas de alteridad. *Innovación y Ciencia XI* (3 y 4): 34–47.
- Edición Especial sobre Medio Ambiente. Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia – ACAC. Bogotá.
- Clewell, A., J. Rieger y J. Munro. 2005. Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects, 2nd Edition. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration. 8 pp.
- Chirivi Gómez, S. M. 2015. Transformación de los agroecosistemas y de la economía campesina por la influencia del mercado en la vereda Purnia Nueva, Los Santos – Santander. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Carrera de Ecología. Bogotá D. C. 86 pp.
- Cotler, H., G. Bocco y A. Velázquez. 2004. El análisis del paisaje como base para la restauración ecológica. Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.). Diplomado en restauración ecológica. INE-SEMARNAT, United States Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación, AC, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
- Díaz, J. E., N. M. Contreras, J. E. Pinto, F. Velandia, C. J. Morales y G. Hincapié. 2009. Evaluación hidrogeológica preliminar de las unidades geológicas de la mesa de Los Santos, Santander. *Boletín de Geología* 31 (1): 61–70.
- Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM). 2005. Ecosistemas y bienestar Humano: Síntesis sobre desertificación. World Resources Institute, Washington, DC. 25 pp.
- Fajardo, L., J. P. Rodríguez, V. González y J. M. Briceño-Linares. 2013. Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. *Journal of Arid Environments* 88: 236–243.
- Hernández, A. J., U. Arantazu y J. Pastor. 2002. Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración ecológica. Ciudad, sociedad, educación, control, caos y autoorganización. Actas de la II Reunión Española de Ciencia de Sistemas. Universidad de Valencia, Departamento de Matemática Aplicada y Sociedad Española de Sistemas Generales. Valencia, junio 12, 13 y 14 de 2002. 10 pp.
- Holling, C. S. 1978. Adaptive Environmental Assessment and Management. Wiley, London. Reprinted by Blackburn Press in 2005. 377 pp.
- Holling, C. S. 2001. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. 2001. *Ecosystems* 4: 390–405.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Igac. 2003. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Santander. Bogotá, Colombia. 1 cd.
- Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras - Ingeominas. 2001. Mapa geológico generalizado del departamento de Santander. Memoria Explicativa.

- Escala 1:400.00. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero – Ambiental y Nuclear. Bogotá, Colombia. 88 pp.
- Lozano-Zambrano, F. H. (Ed.). 2009. Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR). Bogotá D. C. 238 pp.
- Martín-López, B., J. A. González y S. Vilardy. 2012. Guía Docente Ciencias de la sostenibilidad. Bogotá D. C. 145 pp.
- Montoya-Arenas, C., L. M. Escobar Ocampo, E. Patiño Zuluaga y L. F. González Escobar. 2016. Transformación del paisaje cultural de Santafé de Antioquia: impactos del paisaje regional, en el urbano y el cotidiano. Centro de Investigación para el Desarrollo y la Innovación CIDI Universidad Pontificia Bolivariana, Convocatoria UPB INNOVA 2015, Escuela de Hábitat-CEHAP Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Medellín. 57 pp.
- Murcia, C. y M. R. Guariguata. 2014. La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Bogor, Indonesia: Documentos Ocasionales 107 pp.
- Naredo, J. M. y E. Baggethumb-Gómez. 2012. Apéndice: Río+20 en perspectiva. Pp. 347-421 En: Starke, L. (Ed.). Hacia una prosperidad sostenible. La situación del mundo 2012. Informe Anual del Worldwatch Institute sobre el Progreso hacia una Sociedad Sostenible. Icaria editorial. 421 pp.
- Odum, E. 1969. The Strategy of Ecosystem Development. *Science* 164 (3877): 262–270.
- Pennington T., P. L. Gwilyn y J. A. Ratter. 2006. An Overview of the plant diversity, biogeography and conservation of neotropical savannas and seasonally dry forest. Pp. 1-29. En: Pennington T., P. L. Gwilyn y J. A. Ratter (Eds.). Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests. Plant Diversity, Biogeography and Conservation. The Systematics Association. Special Volume Series 69.
- Pizano, C. y H. García (Eds.). 2014. El Bosque seco tropical de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. 352 pp.
- Quesada, M., G. A. Sanchez-Azofeifa, M. Alvarez-Anorve, K. E. Stoner, L. Avila- Cabadilla, J. Calvo-Alvarado, M. M. Espirito-Santo, M. Fagundes, M. Fernandes, J. Gamon, J. M. Lopezaraiza-Mikel, D. Lawrence, L. P. Cerdeira Morellato, J. S. Powers, S. Neves, V. Rosas-Guerrero, R. Sayago y G. Sanchez-Montoya. 2009. Succession and management of tropical dry forests in the Americas: review and perspectives. *Forest Ecology and Management* 258: 1014–1024.
- Schmidheiny, S. 1992. Changing Course: a global business perspective on development and environment. World Buisness Council for Suistainable Development. MIT Press. 357 pp.
- Toledo, V. M. 2005. Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia bioregional? *Gaceta ecológica* 77: 67–83.
- Valencia-Duarte, J., L. N. Trujillo-Ortiz, O. Vargas Ríos. 2012. Dinámica de la vegetación en un enclave semiárido del río Chicamocha, Colombia. *Biota Colombiana* 13 (2): 40-65.
- Vodde, F., K. Jögiste, L. Gruson, T. Illison, K. Köster y J. A. Stanturf. 2010. Regeneration in windthrow areas in hemiboreal forests: the influence of microsite on the height growths of different tree species. *Journal of Forest Research* 15: 55–64.

Anexo 1. Principales tipos de vegetación definidos para la mesa de Xéridas según levantamientos de campo e información secundaria (Albesiano *et al.* 2003).

Denominación	Zona de vida y altitud (m)	Especies características	Composición y estructura	Asociación ambiental
<p>Matorrales a bosques bajos de ladera y cañada de <i>Prosopis juliflora</i> con <i>Lippia origanoides</i> y <i>Cestrum alternifolium</i>.</p>	BsT – Bs-PM ca. 500-1170	<p><i>Lippia origanoides</i>, <i>Cestrum alternifolium</i>, <i>Opuntia pubescens</i>, <i>Stenocereus griseus</i>, <i>Tillandsia recurvata</i>, <i>Commicarpus scandens</i>, <i>Tabernaemontana grandiflora</i>, <i>Senna pallida</i> y <i>Rauwolfia tetraphylla</i>.</p>	<p>Es determinante la presencia compartida de especies como <i>Lippia origanoides</i>, <i>Jatropha gossypifolia</i>, <i>Solanum crotonifolium</i>, <i>Opuntia pubescens</i>, <i>O. dillenii</i> y <i>Tridax procumbens</i>. Las formas degradadas se presentan a manera de matorrales abiertos a enanos y pastizales-prados arbustivos. Bajo algunas de estas condiciones abiertas <i>Stenocereus griseus</i> cobra especial importancia como componente rasante.</p>	<p>En laderas expuestas ligeramente inclinadas a muy escarpadas; cañadas expuestas planas a fuertemente inclinadas, sobre sustratos superficiales erosionados, rocosos hasta pedregosos o franco-arenosos, bien drenados y en algunos casos estacionalmente inundables, con afloramientos de roca en algunos sectores y diferentes proporciones de suelos descubiertos y acumulación de hojarasca (Albesiano-Hoyos <i>et al.</i> 2003). Se observó alteración por cruce de caminos, pastoreo bovino y caprino, paso de mangueras de agua y quemaz esporádicas. Corresponde a vegetación seca de tipo mesoseral a priseral distribuida desde la franja Tropical hasta la transición con la franja Premontana.</p>
<p>Bosques bajos a matorrales de ladera y cañada de <i>Ruprechtia ramiflora</i>, <i>Prosopis juliflora</i>, <i>Bursera simaruba</i> y <i>Astronium graveolens</i>.</p>	BsT – Bs-PM ca. 310-1206	<p><i>Ruprechtia ramiflora</i>, <i>Bursera simaruba</i>, <i>Astronium graveolens</i>, <i>Aspidosperma cuspa</i>, <i>Selaginella sellowii</i>, <i>Casearia tremula</i>, <i>Opuntia</i> sp., <i>Commelina</i> sp., <i>Platymiscium pinnatum</i>, <i>Selaginella</i> sp., <i>Cylindropuntia caribaea</i>, <i>Celtis iguanaea</i> e <i>Indigofera</i> sp.</p>	<p>Entre los componentes locales que desarrollan portes arbóreos se destacan <i>Platymiscium pinnatum</i>, <i>Tabebuia chrysantha</i>, <i>Celtis iguanaea</i>, <i>Guettarda elliptica</i>, <i>Randia aculeata</i> y <i>Pradosia colombiana</i>. Es determinante la presencia compartida de <i>Ruprechtia ramiflora</i> y <i>Bursera simaruba</i>, contrastando con la presencia reducida de <i>Lippia origanoides</i> y <i>Senna pallida</i> y la ausencia de <i>Cestrum alternifolium</i> y <i>Stenocereus griseus</i>. Sus formas degradadas se presentan a manera de matorrales abiertos a enanos arbolados.</p>	<p>En laderas y cañadas expuestas ligeramente inclinadas a moderadamente escarpadas sobre sustratos rocosos hasta pedregosos o arcilloso-arenosos bien drenados, con rocas expuestas y diferentes proporciones de suelo descubierta y acumulación de hojarasca. En los alrededores se observaron alambrados, desarrollo de ganadería bovina y caprina, y cruce de caminos y mangueras de agua. Corresponde a vegetación seca de tipo mesoseral hasta priseral, la cual se extiende desde la franja Tropical hasta la transición con la franja Premontana.</p>
<p>Unidad de vegetación seca estacional: herbazal abierto de terraza aluvial de <i>Gynerium sagittatum</i>, <i>Cyperus rotundus</i> y <i>Prosopis juliflora</i>.</p>	Bs-T ca. 600-650	<p><i>Gynerium sagittatum</i> y <i>Cyperus rotundus</i>.</p>	<p>Herbazal abierto a herbazal generalmente muy pobre en cobertura y composición, el cual comparte la presencia de cañas altas de <i>Gynerium sagittatum</i> con hierbas de <i>Cyperus rotundus</i> y arbustillos de <i>Prosopis juliflora</i> acompañadas por algunas herbáceas y rasantes de cobertura reducida como <i>Tephrosia cinerea</i>. Localmente se observa a <i>Stemodia durantifolia</i> como componente dominante de herbazales más densos.</p>	<p>En terrazas aluviales planas propias de las márgenes del río Chicamocha sobre detritos no consolidados ricos en minerales, desarrollándose a manera de vegetación priseral estacional característica de la época seca (Albesiano-Hoyos <i>et al.</i> 2003). Corresponde a la asociación <i>Cypero rotundiflori Gynerietum sagittati</i> descrita por Albesiano-Hoyos <i>et al.</i> (2003).</p>

Cont. Anexo 1. Principales tipos de vegetación definidos para la mesa de Xéridas según levantamientos de campo e información secundaria (Albesiano *et al.* 2003).

Denominación	Zona de vida y altitud (m)	Especies características	Composición y estructura	Asociación ambiental
Bosques bajos a matorrales de ladera y cañada de <i>Astronium graveolens</i> y <i>Machaerium</i> sp. con <i>Bursaria sinaruba</i> y <i>Guettarda elliptica</i> .	Bs-T – BsPM ca. 349-1251	<i>Machaerium</i> sp., <i>Astronium graveolens</i> , <i>Guettarda elliptica</i> , <i>Guapira</i> sp., <i>Zanthoxylum fogara</i> , <i>Amyris pinnata</i> , <i>Erythroxylum</i> sp., <i>Duranta mutisii</i> , <i>Eugenia punctifolia</i> , <i>Bursaria sinaruba</i> , <i>Erythroxylum</i> sp.1., <i>Albizia niopoides</i> y <i>Chiococca alba</i> .	Integra diversos bosques bajos (eventualmente medios) hasta matorrales los cuales comparten matrices leñosas. Entre los elementos arbóreos locales destacados se encuentran <i>Cedrela odorata</i> , <i>Trichilia inaequilatera</i> , <i>Lonchocarpus velutinus</i> , <i>Melicoccus bijugatus</i> , <i>Ruprechtia ramiflora</i> , <i>Piptadenia viridiflora</i> y especies de <i>Clusia</i> y <i>Ficus</i> .	En laderas y cañadas expuestas ligeramente inclinadas a moderadamente escarpadas, sobre sustratos rocosos expuestos hasta pedregosos o arcilloso-arenosos bien drenados con porciones significativas de suelo descubierto y acumulación de hojarasca. Los sitios presentan diferentes evidencias de alteración, entre ellos el cruce de caminos aledaños, pastoreo bovino y caprino, presencia de cercados y alambrados, cultivos de nopal, paso de mangueras de agua y actividades de tala. Corresponde a vegetación seca de tipo mesoserá distribuida desde la franja Tropical hasta la sección inferior de la franja Premontana.
Bosques medios a bajos de cañada de <i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Maclura tinctoria</i> y <i>Machaerium</i> sp. con <i>Tabernaemontana grandiflora</i> .	Bs-T – Bs-PM ca. 498-1283	<i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Indigofera</i> sp.1., <i>Maclura tinctoria</i> , <i>Bauhinia</i> sp., <i>Pseudomalmea boyacana</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Celtis trinervia</i> , <i>Bauhinia variegata</i> , <i>Inga vera</i> , <i>Justicia bracteosa</i> , <i>Melicoccus bijugatus</i> , <i>Clusia celiae</i> , <i>Neea divaricata</i> y <i>Ficus yoponenis</i> .	Integra diversos bosques medios a bajos (eventualmente bosques altos o matorrales) los cuales comparten una matriz leñosa de árboles de <i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Maclura tinctoria</i> y <i>Machaerium</i> sp. con arbustos de <i>Tabernaemontana grandiflora</i> . Entre los componentes arbóreos locales que desarrollan porte significativo se encuentran <i>Duranta mutisii</i> , <i>Piptadenia viridiflora</i> , <i>Senegalia polyphylla</i> , <i>Muntingia calabura</i> , <i>Picramnia sellowii</i> , <i>Spondias mombin</i> y <i>Bauhinia aculeata</i> .	En cañadas expuestas ligeramente inclinadas a moderadamente escarpadas hasta laderas o pies de ladera fuertemente inclinados a moderadamente escarpados, sobre sustratos rocosos expuestos a pedregosos bien drenados con acumulación importante de hojarasca y porciones de suelos descubiertos. Se observaron cruce de caminos, cultivos aledaños con paso de mangueras para riego, pastoreo especialmente caprino con acumulación de estiércol, y evidencias de tala y quema. Corresponde a vegetación seca de tipo mesoserá distribuida entre la franja Tropical y la sección inferior de la franja Premontana.

Cont. Anexo 1. Principales tipos de vegetación definidos para la mesa de Xéridas según levantamientos de campo e información secundaria (Albesiano *et al.* 2003).

Denominación	Zona de vida y altitud (m)	Especies características	Composición y estructura	Asociación ambiental
Bosques medios a bajos de cañadas y pies de cingla de <i>Anacardium excelsum</i> con <i>Syzygium jambos</i> y especies de <i>Piper</i> :	Bs-T – Bs-PM ca. 655-1601	<i>Anacardium excelsum</i> , <i>Inga punctata</i> , <i>Ficus americana</i> , <i>Acalypha macrostachya</i> , <i>Anthurium fendleri</i> , <i>Piper</i> sp., <i>Toxicodendron striatum</i> , <i>Calliandra</i> sp., <i>Coffea arabica</i> , <i>Mangifera indica</i> , <i>Inga</i> sp., <i>Psychotria horizontalis</i> , <i>Costus laevis</i> , <i>Calliandra purdiei</i> , <i>Psychotria</i> sp., <i>Ficus</i> sp., <i>Syzygium jambos</i> , <i>Blechnum</i> sp. y <i>Carludovica palmata</i> .	Integra bosques medios a bajos los cuales comparten una matriz arbórea de <i>Anacardium excelsum</i> con <i>Syzygium jambos</i> junto con especies herbáceas de <i>Piper</i> (<i>P. crassinervium</i> , <i>P. eriopodum</i> , <i>P. aduncum</i> , <i>P. amalago</i>). Entre los componentes arbóreos locales que desarrollan porte significativo se encuentran <i>Cecropia peltata</i> , <i>Viburnum tinoides</i> , <i>Bauhinia picta</i> , <i>Myrcia cucullata</i> , <i>Pseudomalmea boyacana</i> , <i>Anyris pinnata</i> , <i>Tabernaemontana grandiflora</i> y especies de <i>Conarus</i> , <i>Platymiscium</i> y <i>Guatteria</i> .	En cañadas y pies de laderas y de cingla expuestos a protegidos, planos a moderadamente inclinados hasta moderadamente escarpados, sobre sustratos rocosos a arcilloso-arenosos y oscuros bien drenados con rocas expuestas, hojarasca abundante y diferente proporción de suelos descubiertos, eventualmente erosivos hasta turbosos y moderadamente drenados. Comprenden esencialmente remanentes boscosos de porte significativo integrados en agroecosistemas como sombrío para cultivos de café y plátano, observándose en los alrededores la presencia de cercados, aljibes y mangueras de agua, cruce de caminos, pastoreo y paso frecuente de ganado, no obstante algunos sectores se muestran relativamente bien conservados. Corresponden a vegetación húmeda de tipo mesoseral propia de la sección inferior de la franja Premontana con presencia en la transición con la franja Tropical.
Bosques bajos de ladera y pie de cingla de <i>Myrsine guianensis</i> con <i>Vismia baccifera</i> y <i>Allophylus racemosus</i> .	Bh-PM ca. 1195-1576	<i>Myrsine guianensis</i> , <i>Allophylus racemosus</i> , <i>Chamaecrista</i> sp., <i>Piptocomia</i> sp., <i>Clusia</i> sp., <i>Escallonia pendula</i> , <i>Calycolpus moritzianus</i> , <i>Picramnia</i> sp., <i>Dendropanax arboreus</i> , <i>Furcraea</i> sp., <i>Peperomia</i> sp., <i>Cupania americana</i> , <i>Myrcia cucullata</i> , <i>Sorocea</i> sp.	Comprende bosques bajos (eventualmente bosques medios o herbazales arbolados-arbustivos) los cuales comparten en general una matriz leñosa de <i>Myrsine guianensis</i> con <i>Vismia baccifera</i> y <i>Allophylus racemosus</i> . Entre los elementos arbóreos locales que desarrollan portes significativos se destacan <i>Guazma ulmifolia</i> , <i>Platypodium elegans</i> , <i>Inga vera</i> y <i>Amaioua corymbosa</i> .	En laderas y pies de cingla expuestos ligeramente inclinados a moderadamente escarpados, eventualmente en cañadas protegidas fuertemente inclinadas, sobre sustratos rocosos expuestos hasta oscuros o pedregos bien drenados, eventualmente turbosos a arcilloso-arenosos, con diversas proporciones de hojarasca acumulada y suelos descubiertos. En los alrededores se observó el cruce de caminos poco transitados y el pastoreo de ganado especialmente caprino con acumulaciones significativas de excremento, así como el paso de mangueras de agua, cercados antiguos de roca, presencia de plantas esporádicas de café y cultivos aledaños de maíz. Corresponde a vegetación húmeda de tipo mesoseral, presentándose en su forma más degradada como herbazales fuertemente alterados con componentes leñosos remanentes.

Cont. Anexo 1. Principales tipos de vegetación definidos para la mesa de Xéridas según levantamientos de campo e información secundaria (Albesiano *et al.* 2003).

Denominación	Zona de vida y altitud (m)	Especies características	Composición y estructura	Asociación ambiental
Bosques bajos a matorrales de cañada de <i>Myrsine coriacea</i> , <i>Vismia baccifera</i> y <i>Viburnum tinoides</i> .	Bh-PM ca. 1641-1662	<i>Clusia octopetala</i> , <i>Myrsine coriacea</i> , <i>Sticherus nudus</i> , <i>Sobralia violacea</i> , <i>Miconia ibaguensis</i> , <i>Vismia baccifera</i> , <i>Viburnum tinoides</i> , <i>Tibouchina lindeniana</i> , <i>Lepidaploa canescens</i> , <i>Epidendrum radicans</i> , <i>Alchornea latifolia</i> .	Bosques bajos a matorrales con matrices leñosas de <i>Myrsine coriacea</i> , <i>Vismia baccifera</i> y <i>Viburnum tinoides</i> acompañadas en el estrato subarbóreo por <i>Clusia octopetala</i> , <i>Clusia multiflora</i> , <i>Tibouchina lindeniana</i> , <i>Cosmibuena grandiflora</i> y <i>Acacia mangium</i> .	En cañadas expuestas a protegidas y laderas expuestas del altiplano colinado en la mesa de Xéridas, sobre sustratos rocosos a arcilloso-arenosos y oscuros-turbosos bien a moderadamente drenados con acumulación abundante de hojarasca. Se establece en antiguas zonas de pastoreo, márgenes de humedales y alrededores de sectores bajo sucesión detenida por helechos (<i>Sticherus nudus</i>), en inmediaciones de reservorios de agua de conjuntos residenciales (Acuarelas), caminos poco transitados y de paso de animales. Este tipo de vegetación reúne vegetación húmeda de tipo mesoserale hasta priserale, conformando en su forma más degradada herbazales arbolados con predominio de <i>Sticherus nudus</i> en el estrato herbáceo.
Bosques medios turbosos de ladera de <i>Ocotea guianensis</i> con <i>Cyathea sp.</i> y <i>Miconia araguensis</i> .	Bh-PM ca. 1424-1564	<i>Ocotea guianensis</i> , <i>Cyathea sp.</i> , <i>Chusquea sp.</i> , <i>Vochysia megalophylla</i> , <i>Meliosma sp.</i> , <i>Miconia aponeura</i> , <i>Miconia araguensis</i> , <i>Myrcia tomentosa</i> , <i>Chamaedorea pinnatifrons</i> .	Reúne bosques medios de <i>Ocotea guianensis</i> con <i>Cyathea sp.</i> acompañadas en los estratos arbóreos por <i>Vochysia megalophylla</i> , <i>Matudaea colombiana</i> , <i>Croton leptostachyus</i> y <i>Clusia eugenioides</i> . El estrato arbustivo se caracteriza por la presencia de diversos elementos leñosos de baja cobertura, entre los cuales se incluyen <i>Palicourea thyrsoiflora</i> , <i>Sloanea terniflora</i> , <i>Myrcia tomentosa</i> y especies de <i>Miconia</i> (<i>M. dodecandra</i> , <i>M. pulvinata</i>), <i>Lacistema</i> y <i>Chrysophyllum</i> .	En laderas expuestas a protegidas moderadamente inclinadas a moderadamente escarpadas del margen del altiplano colinado de la mesa de Xéridas, sobre sustratos oscuros a turbosos moderadamente a bien drenados con abundante hojarasca en descomposición avanzada. Se observaron caminos aledaños empleados principalmente para tránsito de turismo. Representan remanentes de bosques turbosos secundarios de tipo mesoserale tardío en buen estado de conservación.

Germán Camargo-Ponce de León
Fundación Guayacal,
Bogotá, Colombia
fauvuge@gmail.com

Laura Gisela Agudelo-Álvarez
Fundación Guayacal,
Bogotá, Colombia
agudelo.laura@gmail.com

Lectura de un paisaje estratificado: propuesta de restauración basada en el ordenamiento multi-escala de las cañadas en la mesa de Xéridas, Santander, Colombia

Citación del artículo: Camargo-Ponce de León, G. y L. G. Agudelo-Álvarez. 2017. Lectura de un paisaje estratificado: propuesta de restauración basada en el ordenamiento multi-escala de las cañadas en la mesa de Xéridas, Santander, Colombia. *Biota Colombiana* 18 (Suplemento 1): 35–59. DOI: 10.21068/c2017.v18s01a02

Recibido: 12 de noviembre de 2015

Aprobado: 22 de febrero de 2017

Guía para autores

(humboldt.org.co/es/bibliotecaypublicaciones/biota)

Preparación del manuscrito

El envío de un manuscrito implica la declaración explícita por parte del autor(es) de que este no ha sido previamente publicado, ni aceptado para su publicación en otra revista u otro órgano de difusión científica. Todas las contribuciones son de la entera responsabilidad de sus autores y no del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, ni de la revista o sus editores.

Los trabajos pueden estar escritos en español, inglés o portugués, y se recomienda que no excedan las 40 páginas (párrafo espaciado a 1,5 líneas) incluyendo tablas, figuras y anexos. En casos especiales el editor podrá considerar la publicación de trabajos más extensos, monografías o actas de congresos, talleres o simposios. De particular interés para la revista son las descripciones de especies nuevas para la ciencia, nuevos registros geográficos y listados de la biodiversidad regional.

Para la elaboración de los textos del manuscrito se puede usar cualquier procesador de palabras (preferiblemente Word); los listados (a manera de tabla) deben ser elaborados en una hoja de cálculo (preferiblemente Excel). Para someter un manuscrito es necesario además anexar una carta de intención en la que se indique claramente:

1. Nombre completo del (los) autor (es), y direcciones para envío de correspondencia (es indispensable suministrar una dirección de correo electrónico para comunicación directa).
2. Título completo del manuscrito.
3. Nombres, tamaños y tipos de archivos suministrados.
4. Lista mínimo de tres revisores sugeridos que puedan evaluar el manuscrito, con sus respectivas direcciones electrónicas.

Evaluación del manuscrito

Los manuscritos sometidos serán revisados por pares científicos calificados, cuya respuesta final de evaluación puede ser: a) *aceptado* (en cuyo caso se asume que no existe ningún cambio, omisión o adición al artículo, y que se recomienda su publicación en la forma actualmente presentada); b) *aceptación condicional* (se acepta y recomienda el artículo para su publicación solo si se realizan los cambios indicados por el evaluador); y c) *rechazo* (cuando el evaluador considera que los contenidos o forma de presentación del artículo no se ajustan a los requerimientos y estándares de calidad de *Biota Colombiana*).

Texto

- Para la presentación del manuscrito configure las páginas de la siguiente manera: hoja tamaño carta, márgenes de 2,5 cm en todos los lados, interlineado 1,5 y alineación hacia la izquierda (incluyendo título y bibliografía).
- Todas las páginas de texto (a excepción de la primera correspondiente al título), deben numerarse en la parte inferior derecha de la hoja.

- Use letra Times New Roman o Arial, tamaño 12 puntos en todos los textos. Máximo 40 páginas, incluyendo tablas, figuras y anexos. Para tablas cambie el tamaño de la fuente a 10 puntos. Evite el uso de negritas o subrayados.
- Los manuscritos debe llevar el siguiente orden: título, resumen y palabras clave, abstract y key words, introducción, material y métodos, resultados, discusión, conclusiones (optativo), agradecimientos (optativo) y bibliografía. Seguidamente, presente una página con la lista de tablas, figuras y anexos. Finalmente, incluya las tablas, figuras y anexos en archivos separadas, debidamente identificadas.
- Escriba los nombres científicos de géneros, especies y subespecies en *cursiva* (itálica). Proceda de la misma forma con los términos en latín (p. e. *sensu*, *et al.*). No subraye ninguna otra palabra o título. No utilice notas al pie de página.
- En cuanto a las abreviaturas y sistema métrico decimal, utilice las normas del Sistema Internacional de Unidades (SI) recordando que siempre se debe dejar un espacio libre entre el valor numérico y la unidad de medida (p. e. 16 km, 23 °C). Para medidas relativas como m/seg., use m.seg⁻¹.
- Escriba los números del uno al diez siempre con letras, excepto cuando preceden a una unidad de medida (p. e. 9 cm) o si se utilizan como marcadores (p. e. parcela 2, muestra 7).
- No utilice punto para separar los millares, millones, etc. Utilice la coma para separar en la cifra la parte entera de la decimal (p. e. 3,1416). Enumere las horas del día de 0:00 a 24:00.
- Expresé los años con todas las cifras sin demarcadores de miles (p. e. 1996-1998). En español los nombres de los meses y días (enero, julio, sábado, lunes) siempre se escriben con la primera letra minúscula, no así en inglés.
- Los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste) siempre deben ser escritos en minúscula, a excepción de sus abreviaturas N, S, E, O (en inglés W), etc. La indicación correcta de coordenadas geográficas es como sigue: 02°37'53"N-56°28'53"W. La altitud geográfica se citará como se expresa a continuación: 1180 m s.n.m. (en inglés 1180 m a.s.l.).
- Las abreviaturas se explican únicamente la primera vez que son usadas.
- Al citar las referencias en el texto mencione los apellidos de los autores en caso de que sean uno o dos, y el apellido del primero seguido por *et al.* cuando sean tres o más. Si menciona varias referencias, éstas deben ser ordenadas cronológicamente y separadas por comas (p. e. Rojas 1978, Bailey *et al.* 1983, Sephton 2001, 2001).
- RESUMEN: incluya un resumen de máximo 200 palabras, tanto en español o portugués como inglés.
- PALABRAS CLAVE: máximo seis palabras clave, preferiblemente complementarias al título del artículo, en español e inglés.

Agradecimientos

Opcional. Párrafo sencillo y conciso entre el texto y la bibliografía. Evite títulos como Dr., Lic., TSU, etc.

Fotografías, figuras, tablas y anexos

Refiera las figuras (gráficas, diagramas, ilustraciones y fotografías) sin abreviación (p. e. Figura 3) al igual que las tablas (p. e. Tabla 1). Gráficos (p. e. CPUE anuales) y figuras (histogramas de tallas), preferiblemente en blanco y negro, con tipo y tamaño de letra uniforme. Deben ser nítidas y de buena calidad, evitando complejidades innecesarias (por ejemplo, tridimensionalidad en gráficos de barras); cuando sea posible use solo colores sólidos en lugar de tramas. Las letras, números o símbolos de las figuras deben ser de un tamaño adecuado de manera que sean claramente legibles una vez reducidas. Para el caso de las fotografías y figuras digitales es necesario que estas sean guardadas como formato tiff con una resolución de 300 dpi. Es oportuno que indique en qué parte del texto desea insertarla.

Lo mismo aplica para las tablas y anexos, los cuales deben ser simples en su estructura (marcos) y estar unificados. Presente las tablas en archivo aparte (Excel), identificadas con su respectivo número. Haga las llamadas a pie de página de tabla con letras ubicadas como superíndice. Evite tablas grandes sobrecargadas de información y líneas divisorias o presentadas en forma compleja. Es oportuno que indique en qué parte del texto desea insertar tablas y anexos.

Bibliografía

Contiene únicamente la lista de las referencias citadas en el texto. Ordénalas alfabéticamente por autores y cronológicamente para un mismo autor. Si hay varias referencias de un mismo autor(es) en el mismo año, añada las letras a, b, c, etc. No abrevie los nombres de las revistas. Presente las referencias en el formato anexo, incluyendo el uso de espacios, comas, puntos, mayúsculas, etc.

ARTÍCULO EN REVISTAS

Agosti, D., C. R. Brandao y S. Diniz. 1999. The new world species of the subfamily Leptanilloidinae (Hymenoptera: Formicidae). *Systematic Entomology* 24: 14-20.

LIBROS, TESIS E INFORMES TÉCNICOS

Libros: Gutiérrez, F. P. 2010. Los recursos hidrobiológicos y pesqueros en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., 118 pp.

Tesis: Cipamocha, C. A. 2002. Caracterización de especies y evaluación trófica de la subienda de peces en el raudal Chorro de Córdoba, bajo río Caquetá, Amazonas, Colombia. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá D. C., 160 pp.

Informes técnicos: Andrade, G. I. 2010. Gestión del conocimiento para la gestión de la biodiversidad: bases conceptuales y propuesta programática para la reingeniería del Instituto Humboldt. Informe Técnico. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., 80 pp.

Capítulo en libro o en informe: Fernández F., E. E. Palacio y W. P. MacKay. 1996. Introducción al estudio de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Colombia. Pp: 349-412. En: Amat, G. D., G. Andrade y F. Fernández (Eds.). Insectos de Colombia. Estudios Escogidos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales & Centro Editorial Javeriano, Bogotá.

Resumen en congreso, simposio, talleres: Señaris, J. C. 2001. Distribución geográfica y utilización del hábitat de las ranas de cristal (Anura; Centrolenidae) en Venezuela. En: Programa y Libro de Resúmenes del IV Congreso Venezolano de Ecología. Mérida, Venezuela, p. 124.

PÁGINAS WEB

No serán incluidas en la bibliografía, sino que se señalarán claramente en el texto al momento de mencionarlas.

Guidelines for authors

(humboldt.org.co/es/bibliotecaypublicaciones/biota)

Manuscript preparation

Submitting a manuscript implies the explicit statement by the author(s) that the paper has not been published before nor accepted for publication in another journal or other means of scientific diffusion. Contributions are entire responsibility of the author and not the Alexander von Humboldt Institute for Research on Biological Resources, or the journal and their editors.

Papers can be written in Spanish, English or Portuguese and it is recommended not exceeding 40 pages (with paragraphs spaced at 1,5) including tables, figures and Annex. For special cases, the editor could consider publishing more extensive papers, monographs or symposium conclusions. New species descriptions for science, new geographic records and regional biodiversity lists are of particular interest for this journal.

Any word-processor program may be used for the text (Word is recommended). taxonomic list or any other type of table, should be prepared in spreadsheet application (Excel is recommended). To submit a manuscript must be accompanied by a cover letter which clearly indicate s:

1. Full names, mailing addresses and e-mail addresses of all authors. (Please note that email addresses are essential to direct communication).
2. The complete title of the article.
3. Names, sizes, and types of files provide.
4. A list of the names and addresses of at least three (3) reviewers who are qualified to evaluate the manuscript.

Evaluation

Submitted manuscript will have a peer review evaluation. Resulting in any of the following: a) *accepted* (in this case we assume that no change, omission or addition to the article is required and it will be published as presented.); b) *conditional acceptance* (the article is accepted and recommended to be published but it needs to be corrected as indicated by the reviewer); and c) *rejected* (when the reviewer considers that the contents and/or form of the paper are not in accordance with requirements of publication standards of *Biota Colombiana*).

Text

- The manuscript specifications should be the following: standard letter size paper, with 2.5 cm margins on all sides, 1.5-spaced and left-aligned (including title and bibliography).
- All text pages (with the exception of the title page) should be numbered. Pages should be numbered in the lower right corner.
- Use Times New Roman or Arial font, size 12, for all texts. Use size 10 text in tables. Avoid the use of bold or underlining. 40 pages maximum, including tables, figures and annex. For tables use size 10 Times New Roman or Arial Font (the one used earlier).
- The manuscripts must be completed with the following order: title, abstract and key words, then in Spanish Título, Resumen y Palabras claves. Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, conclusions (optional), acknowledgements (optional) and bibliography. Following include a page with the Table, Figure and Annex list. Finally tables, figures and annex should be presented and clearly identified in separate tables.
- Scientific names of genera, species and subspecies should be written in italic. The same goes for Latin technical terms (i.e sensu, *et al.*). Avoid the use of underlining any word or title. Do not use footnotes.
- As for abbreviations and the metric system, use the standards of the International System of Units (SI) remembering that there should always be a space between the numeric value and the measure unit (e.g., 16 km, 23 °C). For relative measures such as m/sec, use m.sec⁻¹.
- Write out numbers between one to ten in letters except when it precedes a measure unit (e.g., 9 cm) or if it is used as a marker (e.g., lot 9, sample 7).
- Do not use a point to separate thousands, millions, etc. Use a comma to separate the whole part of the decimal (e.g., 3,1416). Numerate the hours of the from 0:00 to 24:00. Express years with all numbers and without marking thousands (e.g., 1996-1998). In Spanish, the names of the months and days (enero, julio, sábado, lunes) are always written with the first letter as a lower case, but it is not this way in English.
- The cardinal points (north, south, east, and west) should always be written in lower case, with the exception of abbreviations N, S, E, O (in English NW), etc. The correct indication of geographic coordinates is as follows: 02°37'53"N-56°28'53"W. The geographic altitude should be cited as follows: 1180 m a.s.l.
- Abbreviations are explained only the first time they are used.

- When quoting references in the text mentioned author's last names when they are one or two, and et al. after the last name of the first author when there are three or more. If you mention many references, they should be in chronological order and separated by commas (e.g., Rojas 1978, Bailey *et al.* 1983, Sephton 2001, 2001).
- ABSTRACT: include an abstract of 200 words maximum, in Spanish, Portuguese or English.
- KEY WORDS: six key words maximum, complementary to the title.

Pictures, Figures, Tables and Annex

- Figures (graphics, diagrams, illustrations and photographs) without abbreviation (e.g. Figure 3) the same as tables (e.g., Table 1). Graphics and figures should be in black and white, with uniform font type and size. They should be sharp and of good quality, avoiding unnecessary complexities (e.g., three dimensions graphics). When possible use solid color instead of other schemes. The words, numbers or symbols of figures should be of an adequate size so they are readable once reduced. Digital figures must be sent at 300 dpi and in .tiff format. Please indicate in which part of the text you would like to include it.
- The same applies to tables and annexes, which should be simple in structure (frames) and be unified. Present tables in a separate file (Excel), identified with their respective number. Make calls to table footnotes with superscript letters above. Avoid large tables of information overload and fault lines or presented in a complex way. It is appropriate to indicate where in the text to insert tables and annexes.

Bibliography

References in bibliography contains only the list of references cited in the text. Sort them alphabetically by authors and chronologically by the same author. If there are several references by the same author(s) in the same year, add letters a, b, c, etc. Do not abbreviate journal names. Present references in the attached format, including the use of spaces, commas, periodss, capital letters, etc.

JOURNAL ARTICLE

Agosti, D., C. R. Brandao y S. Diniz. 1999. The new world species of the subfamily Leptanilloidinae (Hymenoptera: Formicidae). *Systematic Entomology* 24: 14-20.

BOOK, THESIS, TECHNICAL REVIEWS

Book: Gutiérrez, F. P. 2010. Los recursos hidrobiológicos y pesqueros en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 118 pp.

Thesis: Cipamocha, C. A. 2002. Caracterización de especies y evaluación trófica de la subienda de peces en el raudal Chorro de Córdoba, bajo río Caquetá, Amazonas, Colombia. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá D. C. 160 pp.

Technical reviews: Andrade, G. I. 2010. Gestión del conocimiento para la gestión de la biodiversidad: bases conceptuales y propuesta programática para la reingeniería del Instituto Humboldt. Informe

Técnico. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C. 80 pp.

Book chapter or in review: Fernández F., E. E. Palacio y W. P. MacKay. 1996. Introducción al estudio de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Colombia. Pp: 349-412. *En:* Amat, G. D., G. Andrade y F. Fernández (Eds.). Insectos de Colombia. Estudios Escogidos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales & Centro Editorial Javeriano, Bogotá.

Symposium abstract: Señaris, J. C. 2001. Distribución geográfica y utilización del hábitat de las ranas de cristal (Anura; Centrolenidae) en Venezuela. *En:* Programa y Libro de Resúmenes del IV Congreso Venezolano de Ecología. Mérida, Venezuela, p. 124.

WEB PAGES

Not be included in the literature, but clearly identified in the text at the time of mention.

Guía para autores - Artículos de Datos

www.humboldt.org.co/es/bibliotecaypublicaciones/biota-biotacol@humboldt.org.co

www.sibcolombia.net - sib+iac@humboldt.org.co

El objetivo de esta guía es establecer y explicar los pasos necesarios para la elaboración de un manuscrito con el potencial de convertirse en artículo de datos para ser publicado en la revista *Biota Colombiana*. En esta guía se incluyen aspectos relacionados con la preparación de datos y el manuscrito.

¿Qué es un artículo de datos?

Un artículo de datos o *Data Paper* es un tipo de publicación académica que ha surgido como mecanismo para incentivar la publicación de datos sobre biodiversidad, a la vez que es un medio para generar reconocimiento académico y profesional adecuado a todas las personas que intervienen de una manera u otra en la gestión de información sobre biodiversidad.

Los artículos de datos contienen las secciones básicas de un artículo científico tradicional. Sin embargo, estas se estructuran de acuerdo a un estándar internacional para metadatos (información que le da contexto a los datos) conocido como el *GBIF Metadata Profile* (GMP)¹. La estructuración del manuscrito con base en este estándar se da, en primer lugar, para facilitar que la comunidad de autores que publican conjuntos de datos a nivel global, con presencia en redes como la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) y otras redes relacionadas, puedan publicar fácilmente artículos de datos obteniendo el reconocimiento adecuado a su labor. En segundo lugar, para estimular que los autores de este tipo de conjuntos de datos que aún no han publicado en estas redes de información global, tengan los estímulos necesarios para hacerlo.

Un artículo de datos debe describir de la mejor manera posible el quién, qué, dónde, cuándo, por qué y cómo de la toma y almacenamiento de los datos, sin llegar a convertirse en el medio para realizar un análisis exhaustivo de los mismos, como sucede

en otro tipo de publicaciones académicas. Para profundizar en este modelo de publicación se recomienda consultar a Chavan y Penev (2011)².

¿Qué manuscritos pueden llegar a ser artículos de datos?

Manuscritos que describan conjuntos de datos primarios y originales que contengan registros biológicos (captura de datos de la presencia de un(os) organismo(s) en un lugar y tiempo determinados); información asociada a ejemplares de colecciones biológicas; listados temáticos o geográficos de especies; datos genómicos y todos aquellos datos que sean susceptibles de ser estructurados con el estándar *Darwin Core*³ (DwC). Este estándar es utilizado dentro de la comunidad de autores que publican conjuntos de datos sobre biodiversidad para estructurar los datos y de esta manera poder consolidarlos e integrarlos desde diferentes fuentes a nivel global. No se recomienda someter manuscritos que describan conjuntos de datos secundarios, como por ejemplo compilaciones de registros biológicos desde fuentes secundarias (p.e. literatura o compilaciones de registros ya publicados en redes como GBIF o IABIN).

Preparación de los datos

Como se mencionó anteriormente los datos sometidos dentro de este proceso deben ser estructurados en el estándar DwC. Para facilitar su estructuración, el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia), ha creado dos plantillas en Excel, una para registros biológicos y otra para listas de especies. Lea y siga detenidamente las instrucciones de las plantillas para la estructuración de los datos a publicar. Para cualquier duda sobre el proceso de estructuración de estos datos por favor contactar al equipo coordinador del SiB Colombia (EC-SiB) en sib+iac@humboldt.org.co.

¹ Wieczorek, J. 2011. Perfil de Metadatos de GBIF: una guía de referencia rápida. *En:* Wieczorek, J. The GBIF Integrated Publishing Toolkit User Manual, version 2.0. Traducido y adaptado del inglés por D. Escobar. Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 23p. Disponible en <http://www.sibcolombia.net/repositorio-de-documentos>.

² Chavan, V. y L. Penev. 2011. The data paper: The mechanism to incentivize data publishing in biodiversity science. *BMC Bioinformatics* 12 (Suppl 15): S2.

³ TDWG. 2011. *Darwin Core*: una guía de referencia rápida. (Versión original producida por TDWG, traducida al idioma español por Escobar, D.; versión 2.0). Bogotá: SiB Colombia, 33 pp. Disponible en <http://www.sibcolombia.net/repositorio-de-documentos>

Preparación del manuscrito

Para facilitar la creación y estructuración del manuscrito en el estándar GMP, se cuenta con la ayuda de un editor electrónico (<http://ipt.sibcolombia.net/biota>) que guiará al autor en dicho proceso y que finalmente generará una primera versión del manuscrito. Se recomienda el uso del manual GMP, como una guía de la información a incluir en cada sección del manuscrito, junto con el anexo 1.

Pasos a seguir para la elaboración del manuscrito:

1. Solicite al correo sib+iac@humboldt.org.co el acceso al editor electrónico. El EC-SiB le asignará un usuario y contraseña.
2. Ingrese con su usuario y contraseña al editor electrónico, luego diríjase a la pestaña *Gestión de recursos* y cree un nuevo recurso asignando un nombre corto a su manuscrito usando el formato “AcrónimoDeLaInstitución_año_tipoDeConjuntoDeDatos”, p.e. ABC_2010_avestini y dar clic en el botón crear.
3. En la vista general del editor seleccione “editar” en la pestaña *Metadatos* (por favor, no manipule ningún otro elemento), allí encontrará diferentes secciones (panel derecho) que lo guiarán en la creación de su manuscrito. Guarde los cambios al finalizar cada sección, de lo contrario perderá la información. Recuerde usar el manual GMP. A continuación se presentan algunas recomendaciones para la construcción del manuscrito. Las secciones se indican en MAYÚSCULAS y los elementos de dichas secciones en **negrita**.
 - En PARTES ASOCIADAS incluya únicamente aquellas personas que no haya incluido en INFORMACIÓN BÁSICA.
 - Los DATOS DEL PROYECTO y DATOS DE LA COLECCIÓN son opcionales según el tipo de datos. En caso de usar dichas secciones amplíe o complemente información ya suministrada, p. ej. no repita información de la **descripción** (COBERTURA GEOGRÁFICA) en la **descripción del área de estudio** (DATOS DEL PROYECTO).
 - De igual manera, en los MÉTODOS DE MUESTREO, debe ampliar o complementar información, no repetirla. La información del **área de estudio** debe dar un contexto específico a la metodología de muestreo.
 - Es indispensable documentar el **control de calidad** en MÉTODOS DE MUESTREO. Acá se debe describir que herramientas o protocolos se utilizaron para garantizar

la calidad y coherencia de los datos estructurados con el estándar DwC.

- Para crear la **referencia del recurso**, en la sección REFERENCIAS, utilice uno de los dos formatos propuestos (Anexo 2). No llene el **identificador de la referencia**, este será suministrado posteriormente por el EC-SiB.
 - Para incluir la bibliografía del manuscrito en **referencias**, ingrese cada una de las citas de manera individual, añadiendo una nueva referencia cada vez haciendo clic en la esquina inferior izquierda.
4. Rectifique que el formato de la información suministrada cumpla con los lineamientos de la revista (p. ej. abreviaturas, unidades, formato de números etc.) en la Guía general para autores de *Biota Colombiana*.
 5. Una vez incluida y verificada toda la información en el editor electrónico notifique al EC-SiB al correo electrónico sib+iac@humboldt.org.co, indicando que ha finalizado la edición del manuscrito. Adicionalmente adjunte la plantilla de Excel con los datos estructurados (elimine todas las columnas que no utilizó). El EC-SiB realizará correcciones y recomendaciones finales acerca de la estructuración de los datos y dará las instrucciones finales para que usted proceda a someter el artículo.

Someter el manuscrito

Una vez haya terminado la edición de su manuscrito y recibido las instrucciones por parte del EC-SiB, envíe una carta al correo electrónico biotacol@humboldt.org.co para someter su artículo, siguiendo las instrucciones en la Guía general para autores de *Biota Colombiana*.

Recuerde adjuntar:

- Plantilla de Excel con la última versión de los datos revisada por el EC-SiB.
- Documento de Word con las figuras y tablas seguidas de una lista las mismas.

Cuando finalice el proceso, sus datos se harán públicos y de libre acceso en los portales de datos del SiB Colombia y GBIF. Esto permitirá que sus datos estén disponibles para una audiencia nacional e internacional, manteniendo siempre el crédito para los autores e instituciones asociadas.

Anexo 1. Estructura base de un artículo de datos y su correspondencia con el editor electrónico basado en el GMP.

SECCIÓN/SUBSECCIÓN	CORRESPONDENCIA CON LOS ELEMENTOS DEL EDITOR ELECTRÓNICO
TÍTULO	Derivado del elemento título .
AUTORES	Derivado de los elementos creador del recurso, proveedor de los metadatos y partes asociadas .
AFILIACIONES	Derivado de los elementos creador del recurso, proveedor de los metadatos y partes asociadas . De estos elementos, la combinación de organización, dirección, código postal, ciudad, país y correo electrónico , constituyen la afiliación.
AUTOR DE CONTACTO	Derivado de los elementos creador del recurso y proveedor de los metadatos.
CITACIÓN	Para uso de los editores.
CITACIÓN DEL RECURSO	Derivada del elemento referencia del recurso .
RESUMEN	Derivado del elemento resumen . Máximo 200 palabras.
PALABRAS CLAVE	Derivadas del elemento palabras clave . Máximo seis palabras.
ABSTRACT	Derivado del elemento abstract . Máximo 200 palabras.
KEY WORDS	Derivadas del elemento key words . Máximo seis palabras.
INTRODUCCIÓN	Derivado del elemento propósito (de las secciones Introducción y Antecedentes). Se sugiere un breve texto para introducir las siguientes secciones. Por ejemplo, historia o contexto de la colección biológica o proyecto en relación con los datos descritos, siempre y cuando no se repita información en las subsecuentes secciones.
Datos del proyecto	Derivada de los elementos de la sección Datos del proyecto: título, nombre, apellido, rol, fuentes de financiación, descripción del área de estudio y descripción del proyecto .
Cobertura taxonómica	Derivada de los elementos de la sección Cobertura taxonómica: descripción, nombre científico, nombre común y categoría .
Cobertura geográfica	Derivada de los elementos de la sección Cobertura geográfica: descripción, latitud mínima, latitud máxima, longitud mínima, longitud máxima .
Cobertura temporal	Derivada de los elementos de la sección Cobertura temporal: tipo de cobertura temporal .
Datos de la colección	Derivada de los elementos de la sección Datos de la colección: nombre de la colección, identificador de la colección, identificador de la colección parental, método de preservación de los especímenes y unidades curatoriales .
MATERIAL Y MÉTODOS	Derivado de los elementos de la sección Métodos de muestreo: área de estudio, descripción del muestreo, control de calidad, descripción de la metodología paso a paso .
RESULTADOS	
Descripción del conjunto de datos	Derivado de los elementos de las secciones Discusión y Agradecimientos, contiene información del formato de los datos y metadatos: nivel de jerarquía, fecha de publicación y derechos de propiedad intelectual .
DISCUSIÓN	Se deriva del elemento discusión . Un texto breve (máximo 500 palabras), que puede hacer referencia a la importancia, relevancia, utilidad o uso que se le ha dado o dará a los datos en publicaciones existentes o en posteriores proyectos.
AGRADECIMIENTOS	Se deriva del elemento agradecimientos .
BIBLIOGRAFÍA	Derivado del elemento bibliografía .

Anexo 2. Formatos para llenar el elemento referencia del recurso.

La referencia del recurso es aquella que acompañará los datos descritos por el artículo, públicos a través de las redes SiB Colombia y GBIF. Tenga en cuenta que esta referencia puede diferir de la del artículo. Para mayor información sobre este elemento contacte al EC-SiB. Aquí se sugieren dos formatos, sin embargo puede consultar otros formatos establecidos por GBIF⁴.

TIPO DE RECURSO	PLANTILLA	EJEMPLO
El conjunto de datos que el manuscrito describe es resultado de un proyecto de carácter institucional o colectivo con múltiples participantes.	<Institución publicadora/ Grupo de investigación> <(Año)>, <Título del recurso/Artículo>. <Número total de registros>, <aportados por:> <parte asociada 1 (rol), parte asociada 2 (rol) (...)>. <En línea,> <url del recurso>. <Publicado el DD/MM/AAAA>.	Centro Nacional de Biodiversidad (2013). Vertebrados de la cuenca de la Orinoquia. 1500 registros, aportados por Pérez, S. (Investigador principal, proveedor de contenidos, proveedor de metadatos), M. Sánchez (Procesador), D. Valencia (Custodio, proveedor de metadatos), R. Rodríguez (Procesador), S. Sarmiento (Publicador), V. B. Martínez (Publicador, editor). En línea, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin , publicado el 01/09/2013.
El conjunto de datos que el manuscrito describe es resultado de una iniciativa personal o de un grupo de investigación definido.	<Parte asociada 1, parte asociada 2 (...)> <(Año)>, <Título del recurso/Artículo>, <Número total de registros>, <en línea,> <url del recurso>. <Publicado el DD/MM/AAAA>	Valencia, D., R. Rodríguez y V. B. Martínez (2013). Vertebrados de la cuenca del Orinoco. 1500 registros, en línea, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin . Publicado el 01/09/2001.

Guidelines for authors - Data Papers

www.humboldt.org.co/es/bibliotecaypublicaciones/biota-biotacol@humboldt.org.co |
www.sibcolombia.net - sib+iac@humboldt.org.co

The purpose of this guide is to establish and explain the necessary steps to prepare a manuscript with the potential to become a publishable data paper in Biota Colombiana. This guide includes aspects related to the preparation of both data and the manuscript.

What is a Data Paper?

A data paper is a scholarly publication that has emerged as a mechanism to encourage the publication of biodiversity data as well as an approach to generate appropriate academic and professional recognition to all those involved in the management of biodiversity information.

A data paper contains the basic sections of a traditional scientific paper. However, these are structured according to an international standard for metadata (information that gives context to the data)

known as the *GBIF Metadata Profile* (GMP)⁵. The structuring of the manuscript based on this standard enables the community of authors publishing datasets globally, with presence in networks such as the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) and other related networks, to publish data easily while getting proper recognition for their work and to encourage the authors of this type of data sets that have not yet published in these global information networks to have the necessary incentives to do so.

A data paper should describe in the best possible way the Whom, What, Where, When, Why and How of documenting and recording of data, without becoming the instrument to make a detailed analysis of the data, as happens in other academic publications. To deepen this publishing model, it is recommended to consult Chavan & Penev (2011)⁶.

⁴ GBIF (2012). Recommended practices for citation of the data published through the GBIF Network. Version 1.0 (Authored by Vishwas Chavan), Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility. Pp.12, ISBN: 87-92020-36-4. Accessible at http://links.gbif.org/gbif_best_practice_data_citation_en_v1

⁵ GBIF (2011). GBIF Metadata Profile, Reference Guide, Feb 2011, (contributed by O Tuama, E., Braak, K., Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility, 19 pp. Accessible at http://links.gbif.org/gbif_metadata_profile_how-to_en_v1.

⁶ Chavan, V. y L. Penev. 2011. The data paper: The mechanism to incentivize data publishing in biodiversity science. BMC Bioinformatics 12 (Suppl 15): S2.

Which manuscripts are suitable for publication as data paper?

Manuscripts that describe datasets containing original primary biological records (data of occurrences in a particular place and time); information associated with specimens of biological collections, thematic or regional inventories of species, genomic data and all data likely to be structured with the standard *Darwin Core* *Darwin Core*⁷ (DwC). This standard is used in the community of authors publishing biodiversity datasets to structure the data and thus to consolidate and integrate from different sources globally. It is not recommended to submit manuscripts describing secondary datasets, such as biological records compilations from secondary sources (e.g. literature or compilations of records already published in networks such as GBIF or IABIN).

Dataset preparation

As mentioned above data submitted in this process should be structured based on DwC standard. For ease of structuring, the Biodiversity Information System of Colombia (SiB Colombia), created two templates in Excel; one for occurrences and other for species checklist. Carefully read and follow the template instructions for structuring and publishing data. For any questions about the structure process of data please contact the Coordinator Team of SiB Colombia (EC-SiB) at sib+iac@humboldt.org.co

Manuscript preparation

To assist the creation and structuring of the manuscript in the GMP standard, an electronic writing tool is available (<http://ipt.sibcolombia.net/biota>) to guide the author in the process and ultimately generate a first version of the manuscript. The use of GMP manual as an information guide to include in each section of the manuscript, as well as the annex 1 is recommended.

Steps required for the manuscript preparation:

1. Request access to the electronic writing tool at sib+iac@humboldt.org.co. The EC-SiB will assign a username and password.
2. Login to the electronic writing tool, then go to the tab Manage Resources and create a new resource by assigning a short name for your manuscript and clicking on the Create button. Use the format: "InstitutionAcronym_Year_DatasetFeature", e.g. NMNH_2010_rainforestbirds.
3. In the overview of the writing tool click on edit in Metadata section (please, do not use any other section), once there you will find different sections (right panel) that will guide you creating your manuscript. Save the changes at the end of each section, otherwise you will lose the information. Remember to use the GMP manual. Here are some recommendations for editing the metadata, sections are indicated in CAPS and the elements of these sections in **bold**.

- In ASSOCIATED PARTIES include only those who are not listed in BASIC INFORMATION.
- PROJECT DATA and COLLECTION DATA are optional depending on the data type. When using these sections extend or complement information already provided, i.e. do not repeat the same information describing the **description** (GEOGRAPHIC COVERAGE) in the **study area description** (PROJECT DATA).
- Likewise, in SAMPLING METHODS, you must expand or complete the information, not repeat it. The information in **study extent** should give a specific context of the sampling methodology.
- It is essential to document the **quality control** in SAMPLING METHODS. Here you should describe what tools or protocols were used to ensure the quality and consistency of data structured with DwC standard.
- To create the **resource citation** in the CITATIONS section, follow one of the two formats proposed (Annex 2). Do not fill out the **citation identifier**, this will be provided later by the EC-SiB.
- To include the manuscript bibliography in **citations**, enter each of the citations individually, adding a new citation each time by clicking in the bottom left.

4. Check that the format of the information provided meets the guidelines of the journal (e.g. abbreviations, units, number formatting, etc.) in the *Biota Colombiana* Guidelines for Authors.
5. Once included and verified all information in the writing tool, notify to EC-SiB at sib+iac@humboldt.org.co, indicating that you have finished editing the manuscript. Additionally attach the Excel template with structured data (remove all columns that were not used). The EC-SiB will perform corrections and final recommendations about the structure of the data and give you the final instructions to submit the paper.

Submit the manuscript

Once you have finished editing your manuscript and getting the instructions from EC-SiB, send a letter submitting your article to email biotacol@humboldt.org.co, following the instructions of *Biota Colombiana* Guidelines for Authors.

Remember to attach:

- Excel template with the latest version of the data reviewed by the EC-SiB.
- Word document with figures and tables followed by a list of them.

At the end of the process, your information will be public and freely accessible in the data portal of SiB Colombia and GBIF. This will allow your data to be available for national and international audience, while maintaining credit to the authors and partner institutions.

⁷ Biodiversity Information Standards – TDWG. Accesible at <http://rs.tdwg.org/dwc/terms/>

Annex 1. Basic structure of a data paper and its mapping to the writing tool elements based on GM.

SECTION/SUB-SECTION HEADING	MAPPING WITH WRITING TOOL ELEMENTS
TITLE	Derived from the title element.
AUTHORS	Derived from the resource creator , metadata provider , and associated parties elements.
AFFILIATIONS	Derived from the resource creator , metadata provider and associated parties elements. From these elements combinations of organization , address , postal code , city , country and email constitute the affiliation.
CORRESPONDING AUTHOR	Derived from the resource contact , metadata provider elements.
CITATION	For editors use.
RESOURCE CITATION	Derived from the resource citation element.
RESUMEN	Derived from the resumen element. 200 words max.
PALABRAS CLAVE	Derived from the palabras clave element. 6 words max.
ABSTRACT	Derived from the abstract element. 200 words max.
KEY WORDS	Derived from the key words element. 6 words max.
INTRODUCTION	Derived from the purpose (Introduction and Background section). A short text to introduce the following sections is suggested. For example, history or context of the biological collection or project related with the data described, only if that information is not present in subsequent sections.
Project data	Derived from elements title , personnel first name , personnel last name , role , funding , study area description , and design description .
Taxonomic Coverage	Derived from the taxonomic coverage elements: description , scientific name , common name and rank .
Geographic Coverage	Derived from the geographic coverage elements: description , west , east , south , north .
Temporal Coverage	Derived from the temporal coverage elements: temporal coverage type .
Collection data	Derived from the collection data elements: collection name , collection identifier , parent collection identifier , specimen preservation method and curatorial units .
MATERIALS AND METHODS	Derived from the sampling methods elements: study extent , sampling description , quality control and step description .
RESULTADOS	
Descripción del conjunto de datos	Derived from the discussion and acknowledgments, contains information about the format of the data and metadata: hierarchy level , date published and ip rights .
DISCUSSION	Derived from the discussion element. A short text (max 500 words), which can refer to the importance, relevance, usefulness or use that has been given or will give the data in the published literature or in subsequent projects.
ACKNOWLEDGMENTS	Derived from the acknowledgments element.
BIBLIOGRAPHY	Derived from the citations element.

Annex 2. Citation style quick guide for “resource reference” section.

The Resource Reference is the one that refer to the dataset described by the paper, publicly available through SiB Colombia and GBIF networks. Note that this reference may differ from the one of the paper. For more information about this element contact EC-SiB.

Here two formats are suggested; however you can consult other formats established by GBIF⁸.

TYPE OF RESOURCE	TEMPLATE	EXAMPLE
The paper is the result of a collective or institutional project with multiple participants.	<Institution/Research Group>. <Year>, <Title of the Resource/Paper>. <Number of total records>, <provided by :> <associated party 1 (role), associated party 2 (role), (...)>. <Online,> <resource URL>, <published on>. <Published on DD/MM/AAAA>.	National Biodiversity (2013). Vertebrates in Orinoco, 1500 records, provided by: Perez, S. (Principal investigator, content provider), M. Sanchez (Processor), D. Valencia (Custodian Steward, metadata provider), R. Rodriguez (Processor), S. Sarmiento (Publisher), VB Martinez (Publisher, Editor). Online, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin , published on 01/09/2013.
The paper is the result of a personal initiative or a defined research group.	<associated party 1, associated party 2, (...)>. <Year>, <Title of the Resource/Paper>, <Number of total records>, <Online,> <resource URL>. <Published on DD/MM/AAAA>.	Valencia, D., R. Rodríguez and V. B. Martínez. (2013). Vertebrate Orinoco Basin, 1500 records, Online, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin , published on 01/09/2001

⁸ GBIF (2012). Recommended practices for citation of the data published through the GBIF Network. Version 1.0 (Authored by Vishwas Chavan), Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility. Pp.12, ISBN: 87-92020-36-4. Accessible at http://links.gbif.org/gbif_best_practice_data_citation_en_v1

Una publicación del /A publication of: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

En asocio con /In collaboration with:

Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar

Missouri Botanical Garden

TABLA DE CONTENIDO / TABLE OF CONTENTS

Presentación. <i>Brigitte L. G. Baptiste, Carlos A. Lasso, Wilson Ramírez y Mauricio Aguilar-Garavito</i>	1
Introducción. Alianzas para la restauración de ecosistemas. I Simposio Regional de Restauración Ecológica Nodo REDCRE Suroccidente. Introduction. Alliance for restoration of ecosystems I Regional Symposium on Ecological Restoration REDCRE Node Southwest. <i>Mauricio Aguilar-Garavito, Diana Catalina Rondón Camacho y William Vargas</i>	3
Áreas naturales de bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia: una oportunidad para la restauración. Natural areas of tropical dry forest in Valle del Cauca, Colombia: an opportunity for restoration. <i>Diana P. Alvarado-Solano y Joel T. Otero-Ospina</i>	9
Lectura de un paisaje estratificado: propuesta de restauración basada en el ordenamiento multi-escala de las cañadas en la mesa de Xéridas, Santander, Colombia. Reading a stratified landscape: restoration proposal based on the multi-scale ordination of the canebrakes at Mesa de Xéridas, Santander, Colombia. <i>Germán Camargo-Ponce de León y Laura G. Agudelo-Álvarez</i>	35
Experiencia piloto de nucleación con especies nativas para restaurar una zona degradada por ganadería en el norte de Antioquia, Colombia. A pilot nucleation experiment with native species to restore an area degraded by livestock in the north of Antioquia, Colombia. <i>Mónica Díaz-Páez y Jaime Polanía</i>	60
Zonificación de alternativas de conectividad ecológica, restauración y conservación en las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera, cuenca del río Tunjuelo (Distrito Capital de Bogotá), Colombia. Zonification of alternatives for ecological connectivity, restoration and conservation of the Curubital, Mugroso, Chisacá and Regadera microdrainages of the Tunjuelo River (Capital District of Bogotá), Colombia. <i>Paola Isaacs Cubides, Ledy Trujillo y Vilma Jaimes</i>	70
Banco de semillas de retamo espinoso <i>Ulex europaeus</i> L. en bordes del matorral invasor en un ecosistema zonal de bosque altoandino, Colombia. Seed bank of the spiny reed, <i>Ulex europaeus</i> L., along edges of thickets of this invasive species in a zonal ecosystem of High Andes forest, Colombia. <i>Korina Ocampo-Zuleta y Jairo Solorza Bejarano</i>	89
Forestación de bosques en sabanas de la altillanura colombiana: relevancia de las condiciones ambientales para el establecimiento de plántulas. Afforestation of savanna forests of the Colombian altillanura: relevance of the environmental conditions for the establishment of seedlings. <i>Pablo R. Stevenson, Mónica A. Ramírez, Luisa F. Casas y Francisco Henao-Díaz</i>	99
Guía para autores. Guidelines for authors	110