

## VALORACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES POR CAPTURA DE CO<sub>2</sub> EN UN ECOSISTEMA DE BOSQUE SECO TROPICAL EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE BOLÍVAR, COLOMBIA

Liliana Zuluaga Zuluaga<sup>1</sup>  , Edisson Stiven Castro Escobar<sup>2</sup>  

Recibido: 21 septiembre de 2016, Aceptado: 15 septiembre de 2017, Actualizado: 14 diciembre 2018

DOI: 10.17151/luaz.2019.47.1

### RESUMEN

Este trabajo de investigación analiza la estructura del ecosistema de bosque seco tropical en siete segmentos estudiados en el municipio de El Carmen de Bolívar, Colombia. Se tiene como objetivo estimar la captura de carbono en el compartimiento fustal, para luego calcular el valor monetario de los servicios ambientales de almacenamiento de CO<sub>2</sub>. La valoración se realizó utilizando una base de datos construida a partir de un muestreo de árboles por transectos; esto permitió establecer los tipos de especies, densidad, altura comercial y el diámetro a la altura del pecho de la madera. Finalmente se calculó mediante estas variables, el **stock** de biomasa aérea a través de tres modelos de estimación alométrica. En los resultados se evidencian impactos de origen antropogénico en el bosque, aunque aún hay un número importante de especies nativas; sin embargo estas son principalmente **caducifolias**, lo que reduce el **stock** de captura de CO<sub>2</sub> debido a los ciclos de defoliación natural. A pesar de esto el ecosistema es un sumidero importante de carbono.

### PALABRAS CLAVE

Bosque seco tropical, servicios ambientales, evaluación estructural, captura de CO<sub>2</sub>, valoración ambiental.

### ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL SERVICES BY CO<sub>2</sub> CAPTURE IN A TROPICAL DRY FOREST ECOSYSTEM IN THE MUNICIPALITY OF EL CARMEN DE BOLIVAR, COLOMBIA

### ABSTRACT

This research analyzes the structure of the tropical dry forest ecosystem in seven segments studied in the Municipality of El Carmen de Bolívar, Colombia. The objective was to estimate the carbon capture in the fustal compartment and then calculate the monetary value of the environmental services of CO<sub>2</sub> storage. The assessment was carried out using a database designed from the sampling of trees by transects. This allowed establishing types of species, density, commercial height and diameter at breast height of the wood. Finally, the **stock** of air biomass was calculated by means of these variables through three models of allometric estimation. The results show an impact of anthropogenic origin in the forest although there is still a significant number of native species. However, these are mainly **caducifolias** which reduce the **stock** of CO<sub>2</sub> capture due to natural defoliation cycles. Despite of this, the ecosystem is an important carbon sink.

## Key words

Tropical dry forest, environmental services, structural evaluation, CO2 capture, environmental assessment.

---

## INTRODUCCIÓN

El bosque seco tropical (en adelante Bs-T) es una zona de vida considerada como estratégica para su conservación por los beneficios socioambientales que provee y la importancia ecológica como sumidero y amortiguamiento de especies endémicas en un contexto nacional en que resulta siendo uno de los ecosistemas más amenazados por acciones antrópicas como la agricultura y la minería (Rangel-Acosta y Martínez-Hernández, 2017). Hoy quedan muy pocos remanentes de Bs-T en Colombia y la mayoría de ellos carecen de condición relictual, encontrándose en etapas de sucesión secundaria que se constituyen como la única oportunidad de conservar una muestra representativa de este sistema de vida, lo que amenaza la biodiversidad de algunas zonas del país (Soto-Sandoval et al., 2017). Desde el punto de vista genético, “los relictos de bosque seco se constituyen en verdaderos bancos genéticos *in situ*, que son desconocidos hasta ahora” (IAVH, 1995, p. 56). Esta presión sobre los bosques ha conllevado a que se presenten procesos de selección disgénica<sup>3</sup> y endogamia entre los árboles restantes, lo que acarrea que los procesos de regeneración natural a futuro no permitan mantener el bosque tropical típico.

Por este motivo la implementación de estrategias de conservación de los servicios ambientales debe procurar la preservación de la vida tal como se la percibe en el presente. Según Frankham (2006) “el intercambio genético entre las diferentes poblaciones es vital para prevenir el deterioro genético causado por la endogamia y para mantener la variabilidad genética de la especie” (p. 72), evitando así que se presenten plagas forestales y/o agrícolas que puedan arrasarse con los cultivos presentes en la zona y adicionalmente se garantizaría la sobrevivencia de las especies nativas a lo largo del tiempo (sean forestales o animales) que interactúan entre diferentes ecosistemas, por lo que el cambio de ambientes naturales por plantaciones forestales y/o monocultivos implica una afectación de su equilibrio natural.

En el panorama colombiano los esfuerzos de conservación ambiental se han focalizado en la identificación de áreas estratégicas de amortiguamiento y la caracterización de la flora y la fauna del ecosistema de Bs-T, con lo cual se determinó que la mayor concentración está en la zona nororiental del país y se reconocen alrededor de 617 especies en todos los sitios donde está localizado. Sin embargo la presión de la ganadería y la agricultura cada vez van cercandando esas áreas de amortiguamiento y deteriorando los corredores boscosos que aún existen, por lo cual se cree que las medidas de mitigación son insuficientes. En la zona de estudio, al norte de Colombia, estos bosques se han visto afectados por varios fenómenos sociales: en principio debido a hechos de violencia y al desplazamiento forzado de la población que hizo que grandes extensiones de tierra fueran abandonadas, período en el que el bosque se recuperó rápidamente; sin embargo con el retorno de los pobladores se está ejerciendo nuevamente presión sobre los mismos y están siendo

diezmados, lo cual es de gran preocupación. De todas formas Colombia se ha caracterizado por el desarrollo de políticas de protección y conservación natural, por ejemplo: en lo que se refiere al cambio climático se aprobó la Ley 164 de 1994 mediante la cual se asume lo pactado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), posteriormente se expidió la estrategia nacional para la venta de servicios ambientales de mitigación de cambio climático a través del CONPES 3242 de 2003. Igualmente desde años atrás se vienen evaluando diferentes formas de estudiar la caracterización de bosques, la valoración de los servicios ambientales y los cálculos para la determinación de procesos de captura de CO<sub>2</sub>. No obstante, hay un rezago en materia de investigación sobre las herramientas y estrategias de valoración; en cuanto al Bs-T, a pesar de su importancia y de ser uno de los ecosistemas con más alto grado de amenaza en el mundo, es también uno de los menos conocidos.

Y es que existen una serie de hechos que imposibilitan la adopción de decisiones en la reducción de la deforestación y la mejora en la oferta de servicios ambientales. Estas situaciones tienen que ver con el desconocimiento del ecosistema, la falta de control de los recursos, la inexistencia de unidades claramente definidas para el análisis de la diversidad biológica y la ausencia de atributos tangibles y fácilmente medibles que reflejen la composición de especies y del ecosistema; adicionalmente incide el hecho de que no se tenga claridad sobre la oferta de servicios ambientales y por consiguiente no se desarrollen ejercicios de valoración ambiental que impulsen a la sociedad y a los organismos de planificación a considerar el costo de oportunidad que se asume a través de iniciativas de conservación (Iftekhhar et al., 2017). Como lo indica Tomasini (1995), “la valoración traduce el impacto ambiental en valores que pueden ser comparados e integrados con criterios económicos y financieros (costo-beneficio) para tomar decisiones acertadas, dejando menos espacio para juicios subjetivos. La valoración provee un veraz indicador de performance económica” (p. 45). De esta manera, y con el fin de incentivar la conservación de un área de Bs-T ubicada en el municipio de El Carmen de Bolívar, se procedió a obtener la información sobre el estado actual de los relictos de bosque y el **stock** potencial de acumulación de carbono para posteriormente monetizar esos servicios ambientales.

El documento se compone de cinco apartados. En el primer apartado se presenta una revisión del enfoque de servicios ambientales en el marco del desarrollo sostenible; luego se encuentra la descripción de algunas investigaciones sobre la determinación de la biomasa y posteriormente el cálculo de captura de CO<sub>2</sub> de estudios realizados en América Latina y en Colombia en los últimos años. En el apartado tres se describen los instrumentos metodológicos y las fuentes de información consultadas, adicionalmente se incluyen las técnicas e indicadores de análisis empleados para determinar la estructura horizontal del bosque y hallar el índice de valor de importancia —IVI—. Posteriormente se describe la metodología para la estimación de reservas potenciales de carbono. En el apartado cuatro se contextualiza sobre las generalidades del área de estudio en El Carmen de Bolívar y en el siguiente apartado se presentan los resultados de la investigación. Finalmente se hace mención a las principales conclusiones del estudio.

## VALORACIÓN AMBIENTAL EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

El deterioro de los recursos naturales como los bosques nativos, la biodiversidad, el agua y el suelo, eventualmente se perciben como un efecto colateral del desarrollo económico y social; esto es un **trade-off** que asumen los planificadores en medio de una disyuntiva entre apuestas de progreso, bienestar y sostenibilidad. Un proceso equilibrado en estos aspectos es lo que se conoce como el desarrollo sostenible, que pretende “solucionar las necesidades de la población del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para solucionar sus propias necesidades” (Zúñiga, 2009, p. 12). Según Talero y Umaña (2000) “el análisis de la problemática ambiental más cercana al individuo, facilita realizar acciones locales tendientes a mejorar la calidad de vida de los individuos y dar un manejo de desarrollo sustentable al ambiente” (p. 7); de esta manera el desempeño integral de la sociedad debe contemplar también la preservación ambiental incidiendo en la solución de las necesidades de las poblaciones, pero promoviendo al tiempo la conservación del equilibrio natural. Y es que la dimensión ambiental es muy relevante dentro de los componentes del desarrollo, ya que presta el servicio de soporte para los demás sistemas<sup>4</sup>. Así pues, el acercamiento a la valoración ambiental y de los recursos naturales es el que marca la pauta para evaluar alternativas que pongan en la balanza los costos de oportunidad que implica la afectación de los ecosistemas frente a los beneficios efectivos que se obtienen en materia social y económica cuando estos implican algún tipo de deterioro a los soportes de la vida.

En este sentido la creciente demanda de los servicios ecosistémicos ha permitido a la vez el incremento de incitativas de conservación, administración y optimización de los recursos ambientales. En 1997, y bajo la dirección de la CMNUCC, se generó el Protocolo de Kioto que entró en vigencia en 2005 y que tiene como objetivo disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero; este protocolo abre las puertas para la ejecución de actividades de preservación ambiental en busca de estrategias que permitan impulsar la eficiencia energética y la investigación que apunte al uso de energía renovable, la agricultura sostenible, las medidas para limitar o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, al igual que la protección y mejora de los sumideros y depósitos de este tipo de gases. Frente a este último punto se han desarrollado a nivel mundial cientos de estudios con el fin de fomentar la conservación de reservorios de bosque y plantaciones forestales con fines de secuestro de CO<sub>2</sub>.

En 1992, por otra parte, la Cumbre de Río de Janeiro estableció un valioso espacio en el que se admitió como mecanismo de acción para mitigar estos cambios al mercado de los bienes y servicios ambientales como una de las tácticas más idóneas para obtener las metas de conservación del medio ambiente y desarrollo sostenible. Podría decirse entonces que la monetización de los recursos naturales se da como una solución a la necesidad de manejarlos sosteniblemente siempre y cuando se logre subsanar un dilema ético, moral, conservacionista y legal que rodea a las iniciativas de valoración ambiental; ya que la cuantificación económica de bienes y servicios ambientales ha sido bastante criticada porque se monetizan los recursos naturales utilizando la lógica del mercado para definir el **plusvalor** y con ello habría una digresión entre la sustituibilidad y la monetarización relacionada con el período de regeneración, expresado entre el tiempo económico y el tiempo biológico. En todo caso, en el mundo de hoy se insiste sobre la conveniencia de valorar los recursos naturales porque al no hacerlo

se caería en el error de asumir que su valor es cero y así se excluirían de la toma de decisiones, de ahí la necesidad de estimarlos [...] aun cuando se corra riesgo de asignar valores menores a los reales. (Haro-Martínez y Teddei-Bringas, 2014, p. 755)

Los problemas asociados a la gestión del medio ambiente son considerados dentro de la economía ambiental como externalidades valoradas a partir del instrumental analítico de la economía cuyos raciocinios están dados en términos de precios, costes y beneficios ya sean reales o simulados. Adicionalmente se estima que el principio de los inconvenientes medioambientales es la carencia de valor económico de los recursos, por lo que se sugiere atribuir valores monetarios a dichas externalidades y así podrían incorporarse en el análisis costo-beneficio con el fin de determinar la rentabilidad de su conservación o su eliminación.

Desde la economía ambiental los servicios e impactos ambientales poseen un sitio de intersección que radica en valorar los beneficios a partir de la disposición a pagar por estos. Asimismo, con respecto a los daños ambientales, los costos asociados se valoran de acuerdo a lo que a la humanidad le molesta ese daño y de esta forma se expresa monetariamente según la disposición a aceptar el daño mediante un mecanismo de compensación económica. La mayor dificultad asociada a este enfoque radica en la carencia de mercados concretos para un gran porcentaje de los beneficios y costos ambientales, lo cual hoy se afronta creando mercados artificiales o mediante métodos indirectos empleados en la economía ambiental. El concepto de valor de servicios de los ecosistemas puede ser una herramienta útil para distinguir y medir donde son posibles las compensaciones entre la sociedad y el resto de la naturaleza y donde se puede mejorar el bienestar humano de una manera sostenible (Farber, Costanza and Wilson, 2002).

De este modo el uso indiscriminado que supera la capacidad de los recursos naturales para recuperarse ha permitido que surja la necesidad de conocer los costos ambientales en los que se incurre en estos procesos de degradación y a la vez generar estrategias de regulación e incentivos justos que permitan mejorar los indicadores que hacen parte de este proceso. Con base en lo anterior, la valoración de servicios ambientales es primordial si se pretende equilibrar las condiciones de sostenibilidad tal como lo indican Machín y Casas (2006) cuando plantean que “en términos económicos el usuario de los recursos naturales tenderá a no tratarlo como un bien gratuito; esto debido, a que su objetivo será el mantenimiento del flujo de beneficios provenientes de los bienes y servicios proveídos por ellos” (p. 2). Esto explica que las personas que hacen uso racional de los recursos tiendan a evitar la depreciación inútil del patrimonio natural.

### **ALGUNOS ENFOQUES Y EXPERIENCIAS DE VALORACIÓN AMBIENTAL**

En torno a la problemática del deterioro de la calidad de vida de las especies existentes en el planeta se han generado una cantidad importante de estudios para establecer la condición y valoración económica de los bienes y servicios ofrecidos por los ecosistemas cercanos a las comunidades en pro de diseñar mecanismos de protección. A pesar de esto, no existe una idea estándar que establezca cual es la mejor herramienta de valoración ambiental ante la diversidad de enfoques y las limitaciones que cada uno expone. Hoy se usan con frecuencia métodos indirectos

expresados en la disposición a pagar o el valor de uso, sin embargo son bastante subjetivos y tienden a subestimar el **performance** de la naturaleza frente a los beneficios económicos que supone algún tipo de intervención antrópica. Entre los más comunes se encuentran los métodos de costos de viaje, costos evitados, proyecto sombra, valoración contingente, precios hedónicos, mercados simulados o experimentales y los métodos basados en atributos como el valor paisajístico. Sin embargo desde la economía ambiental y la biología han surgido métodos más directos que cuantifican en primera instancia el servicio ambiental, para luego expresarlo en términos de mercado, por ejemplo: para la valoración del secuestro de carbono se puede determinar el stock almacenado en el suelo o carbono atmosférico contenido en el fuste de la madera, para después atribuirle un valor económico según las tasas de transacción vigentes en las reservas de bonos del Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub>.

Sobre ello hay experiencias en varios países de Europa, Centro y Suramérica. No obstante, en este trabajo solo se mencionan unos pocos que por su similitud sirven de referente para comparar los resultados del estudio y mantener una misma línea metodológica. Por ejemplo: Zamora (2003) realizó una estimación de la captura de carbono en biomasa aérea en México, específicamente en el municipio de Peribán en el ejido de "La Majana", con el fin de hacer un comparativo entre un bosque cuyo manejo estuviera enfocado a obtener mayor captura de CO<sub>2</sub> y un bosque con manejo tradicional. La metodología empleada para los cálculos fue la propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), en 1994, que hace uso de diferentes variables para hallar la biomasa aérea y posteriormente el CO<sub>2</sub> almacenado en el compartimento fustal (los datos se obtuvieron a partir del volumen existente por hectárea). El resultado de esta investigación permitió determinar que a corto plazo el manejo tradicional del bosque presenta capturas de CO<sub>2</sub> mayores comparativamente con un bosque con plan de manejo ambiental; sin embargo a mediano y largo plazo presenta varias desventajas debido a que deja de lado factores ecológicos y no tiene incorporado elementos tendientes a mantener la estructura original con el fin de proteger los recursos agua, suelo, fauna y flora. Los resultados concluyen, además, que con el tiempo el bosque manejado técnicamente tiene una mayor captura de CO<sub>2</sub> que el bosque con manejo tradicional.

Por otro lado García y Sánchez (2009) estimaron el contenido de carbono en la parte aérea del estrato arbóreo para las especies de interés presentes en un bosque bajo de aprovechamiento forestal maderable del ejido de Tlalmanalco, municipio de Tlalmanalco, Estado de México, durante el período 2007-2016, para analizar los posibles beneficios que este aprovechamiento propicia sobre el contenido de carbono. La estimación por hectárea se traduce en un promedio de contenido de carbono donde la superficie total sobre la cual fue calculada, fue la base para poder compararse entre cada especie a fin de determinar su aptitud considerando la composición botánica. Con base en las estimaciones volumétricas se puede distinguir el cambio en el contenido de carbono para cada uno de los años del ciclo de corta, ya que el aprovechamiento maderable modifica la cantidad del contenido de carbono en las masas forestales. De manera general se estima un aumento constante en el contenido de carbono a lo largo del ciclo de corta donde al final del mismo se estimó un incremento total de 8630 toneladas.

En otro estudio, Pérez y Díaz (2010) estimaron la cantidad de biomasa/carbono contenido en la biomasa forestal aérea de las reservas biológicas de Cachalú y Encenillo en Colombia. El método

buscó la estimación de la biomasa en los compartimentos fustal, latizal, herbáceo, litter y necromasa. Los resultados del estudio indican que el aporte de biomasa aérea se da en mayor proporción por el compartimento fustal; seguido de hojarasca, necromasa, herbáceo y latizal en orden descendente para la reserva Encenillo y Cachalú respectivamente (fustales: 86,15 % y 85,8 %; hojarasca: 7,5 % y 5,2 %; necromasa: 4 % y 2,8 %; herbáceo: 1,6 % y 3 % y latizales: 0,7 % y 3,1 %).

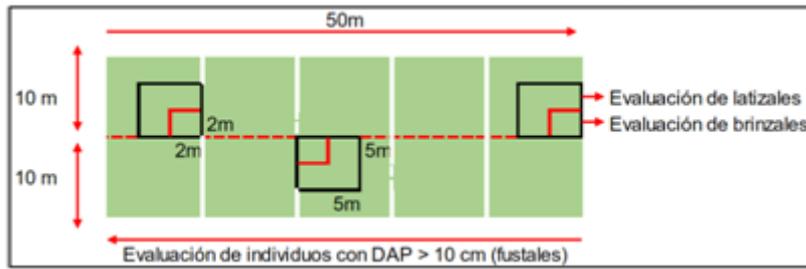
Finalmente Yepes et al. (2011) seleccionaron y validaron modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia, para construir nuevos modelos de estimación de biomasa aérea en tres de los ecosistemas más importantes del Pacífico colombiano. Mediante el cálculo del porcentaje de error se evaluó la precisión de la estimación de la biomasa aérea de cada árbol pesado en campo para cada uno de los modelos alométricos utilizados. Se seleccionaron al menos tres individuos de las especies dominantes en cada categoría diamétrica y se realizaron mediciones de diámetros. Posteriormente se realizó el corte del árbol y se tomaron las mediciones de altura relacionadas con fuste y copa. Los resultados muestran que algunas de las ecuaciones estiman adecuadamente la biomasa aérea de los árboles en Colombia, pero la mayoría requieren de variables adicionales al diámetro (D); esto limita su aplicación a los datos de inventarios forestales donde generalmente el diámetro es la única variable reportada. Para los bosques del Pacífico colombiano se genera una línea de regresión entre el logaritmo del diámetro y el logaritmo de la biomasa aérea (BA, peso seco) y la distribución de los residuales para los tres tipos de bosque: colina; guandal y manglar. En general los modelos desarrollados para los tres tipos de bosque presentaron un buen ajuste ( $R^2 > 95 \%$ ).

---

## METODOLOGÍA

El análisis del ecosistema de Bs-T en el municipio de El Carmen de Bolívar, Colombia, se hizo mediante una aproximación empírico-analítica en la que primero se caracterizaron las coberturas vegetales y luego se realizó un levantamiento de flora por medio de muestreos para realizar el inventario de plantas. Este procedimiento se hizo siguiendo el método propuesto por Gentry (1982) que consiste en analizar la riqueza florística, la estructura y la composición de la vegetación mediante la realización de un inventario de las especies. Para la caracterización de las unidades florísticas se utilizaron transectos de 0,1 ha con el fin de evaluar la composición y la estructura horizontal y vertical de la cobertura del bosque. Una vez en campo se muestrearon las parcelas de 20 m x 50 m (0,1 ha) como se observa en la siguiente [figura](#).

Fuente: GESAM (2013).



**Figura 1.** Diseño de parcelas para el muestreo de individuos fustales, latizales y brinzales.

En cada parcela se midieron e inventariaron todos los individuos fustales (DAP mayor o igual a 10 centímetros). Adicionalmente se registraron los latizales (individuos con DAP menor de 10 cm y mayor de 2,5 cm) con subparcelas de 5 m x 5 m, estimando la altura total y midiendo el perímetro o circunferencia a la altura del pecho —CAP— de cada individuo. Finalmente se establecieron subparcelas de brinzales de 2 m x 2 m donde se estimaría la abundancia de cada una de las especies con el conteo de los individuos con diámetros menores a 2,5 cm. Posterior a la recolección de toda la información se realizó una base de datos con los puntos del Sistema de Posicionamiento Global —GPS— y con la información de las parcelas levantadas, con el fin de realizar los ajustes en el Sistema de Información Geográfico —SIG— y el análisis estructural de las coberturas. Una vez se identificaron la totalidad de las especies se generó el listado a fin de determinar la estructura y composición florística del ecosistema. Los datos arrojados por el análisis estructural permitieron evaluar el comportamiento de árboles individuales, especies, familias y la totalidad del bosque, sus dinámicas y tendencias de desarrollo a futuro, que son básicas para diseñar las estrategias de manejo de cualquier tipo de bosque. Asimismo, para analizar la composición florística y el análisis estructural de la vegetación, se realizó un inventario forestal para cada cobertura identificada y delimitada en cada uno de los bosques seleccionados con un error de muestreo no superior al 10 %. En total se establecieron 353 transectos en los que se realizó la individualización de las especies, la medición del diámetro a la altura del pecho —DAP— y la estimación de la altura para los árboles fustales con DAP > 10 cm.

Según Melo y Vargas (2003), la evaluación de la estructura horizontal permite identificar el comportamiento de los individuos y especies dentro del bosque. Este análisis se desarrolla mediante la generación de índices que expresan la ocurrencia e importancia de las especies dentro del ecosistema. Para ello se determinaron la abundancia, la frecuencia y la dominancia cuya suma de los valores relativos da como resultado el IVI; el cual permite confrontar la carga ecológica de las especies dentro del ecosistema estudiado y permite hacer una relación directa de las especies de mayor importancia ecológica dentro del ecosistema con los bienes y servicios del bosque y su capacidad en cuanto a la captura de CO<sub>2</sub>. Finalmente para la estimación de la biomasa aérea se emplearon ecuaciones alométricas desarrolladas para el contexto colombiano por Yepes et al. (2011) y dos modelos predictivos de biomasa para bosques húmedos que también recomiendan estos autores. La primera ecuación se presenta a continuación.

**Tabla 1.** Ecuaciones alométricas recomendadas para el cálculo de biomasa en bosques naturales de todos los árboles con  $D > 10$  cm

<b>Subconjunto 1. Variables independientes: diámetro (D) y densidad de madera</b>						
<b>(p)</b>						
<b>Tipo de bosque</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>B1</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Bs-T</b>	4,04	-1,991	1,237	-0,126	1,283	

Nota: D: diámetro normal medido a 1,3 m de altura desde el suelo en cm; (p): densidad de la madera en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ ; a, b, c, d y B1: constantes del modelo; R<sup>2</sup>: ajuste del modelo.

Fuente: IDEAM (2011).

Para hallar la densidad de la madera Yepes et al. (2011) proponen usar tres fuentes de información: las bases de datos que estimó el IPCC en 2003 y 2006; la información calculada por Chave et al. (2005) y los datos obtenidos por el método de Zanne et al. (2009). Siguiendo con esta metodología, cuando los valores específicos por especie no se encuentran reportados en las bases de datos se procede a utilizar el promedio del nivel taxonómico superior en su orden género y familia. Los otros dos modelos predictivos de biomasa para poder hacer comparaciones se muestran en la [tabla 2](#).

**Tabla 2.** Modelos predictivos de biomasa (k por árbol) para bosques húmedos

<b>Modelo</b>	<b>Ecuación</b>
<b>1</b>	$B = d * e^{-1.239 + 1.980 * \ln(DAP) + 0.207 * \ln(DAP)^2 - (0.0281 * \ln(DAP))^3}$
<b>2</b>	$B = 21,297 - 6,953 * (DAP) + 0,740 * (DAP)^2$

Nota: B: biomasa aérea en k; d: peso específico básico ( $\text{gm}/\text{cm}^3$ ); DAP: diámetro a la altura del pecho.

Fuente: Chave et al. (2005).

Para realizar la conversión de la biomasa aérea a carbono se debe utilizar 0,5 como factor de conversión. Según Yepes et al. (2011) en las investigaciones realizadas sobre captura de  $\text{CO}_2$  atmosférico en los bosques tropicales se debe asumir que la biomasa contenida en los árboles está compuesta por un 50 % de carbono. Para hallar el contenido de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ), Yepes et al. (2011) proponen multiplicar las toneladas almacenadas por el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono; mientras que el IPCC (2006) plantea emplear el factor  $44/12=3,67$ , “este factor resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono, por el peso específico del carbono” (p. 610).

Los resultados permiten estimar las toneladas de  $\text{CO}_2\text{eq}$  almacenado, asociado a diferentes densidades de vegetación. La tendencia es que a mayor densidad de árboles/ha, hay mayor captura de  $\text{CO}_2$ ; no obstante, los bosques que presentan menor densidad por hectárea pero mayor captura de  $\text{CO}_2$  tienen mayor desarrollo debido a que poseen mayor biomasa. La captación de  $\text{CO}_2$  es directamente proporcional al estado de sucesión del bosque (a mayor edad, mayor captación), esto se explica dado que la biomasa depende del tipo y estado de desarrollo de los bosques. El

crecimiento depende del patrimonio genético de las especies vegetales, del estado de desarrollo, de los factores ambientales y de la influencia antrópica; es decir que un bosque que presenta mayor equilibrio ecológico y menor presión antrópica tiene tasas de captura de carbono más elevadas. Si bien es cierto que a mayor área se tiene una mayor probabilidad de captura, lo que define esto es el tipo y desarrollo de las especies presentes en el bosque.

---

## RESULTADOS

### Contexto de la zona de estudio

El área de estudio está localizada en la parte noroccidental de Colombia en la región Caribe, sobre la jurisdicción del municipio de El Carmen de Bolívar en el departamento de Bolívar, con una altura que varía entre los 0 y 1100 m aproximadamente y una temperatura promedio superior a 24 °C, con precipitaciones medias anuales que presentan rangos entre 1000 y 2100 mm. La región de El Carmen de Bolívar hace parte del gran bioma bosque seco tropical y está clasificado bajo la zona de vida denominada también Bs-T (Holdridge, 1971) que se localiza desde el sur de la Guajira hasta Córdoba, San Andrés Isla, Providencia y Santa Catalina. Dentro de este gran bioma predominan los pastos (53 %), vegetación secundaria (13 %), cultivos anuales transitorios (7 %), áreas agrícolas heterogéneas (9 %) y arbustales (5 %). Los bosques de la región Caribe han sido profundamente modificados y afectados por la deforestación para el establecimiento de ganadería, esto ha generado la transformación de bosque a zonas de pastoreo; llevando a la pérdida de hábitats naturales y ocasionando la desaparición de innumerables especies de flora y fauna de la zona.

La dinámica del trabajo rural en la zona se desarrolla hoy bajo actividades técnicamente no viables, lo que las hace poco productivas y no rentables. Como resultado de los cambios se evidencian nuevas formas de uso del suelo que generan excesiva presión sobre los recursos naturales de la zona, especialmente sobre el Bs-T; ya que los lugareños emplean su madera para autoconsumo, la cacería es una actividad dominante y la expansión de la frontera agrícola es una constante. Los sectores estudiados fueron: Carlos Osorio 1 (25 ha); Carlos Osorio 2 (62 ha); Cascajo (25 ha); Galván (57 ha); San Rafael (8 ha); Borrachera (147 ha) y Bajo de Morrocoy (29 ha). Se muestreo el 10 % del área con parcelas de 1000 m<sup>2</sup> por ha como se muestra en la [figura 2](#).

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

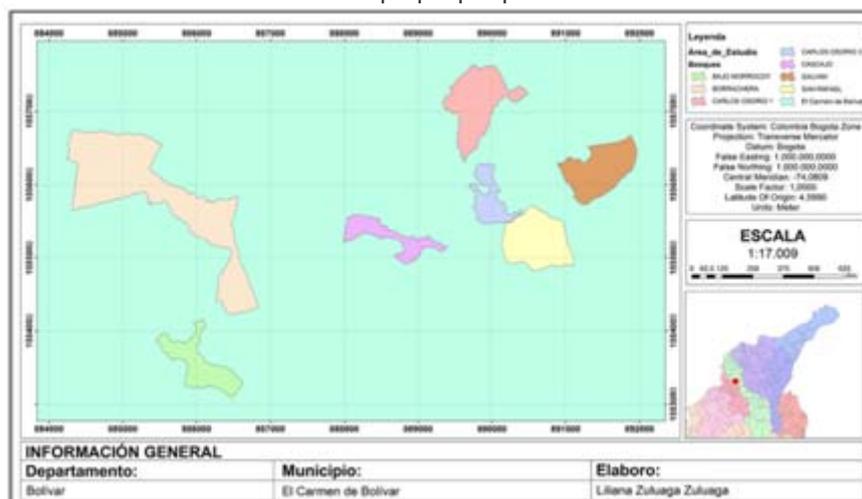


Figura 2. Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio.

### Análisis estructural

El estudio de la estructura horizontal del bosque permitió la identificación de las especies de mayor importancia ecológica en el ecosistema en el que se hallaron los índices convencionales de abundancia, frecuencia y dominancia en datos absolutos y relativos para 63 especies identificadas en el área de estudio. Además se identificó que los árboles son de porte alto, lo que los pone en riesgo de ser deforestados por las características de desarrollo del fuste (madera).

Mediante la suma de los valores relativos de los índices convencionales se obtuvo el IVI para todas las especies en general y en cada uno de los bosques evaluados. Las especies raras tienen un IVI acumulado en promedio del 67,3 % en la totalidad de los bosques, lo que sugiere que el bosque es heterogéneo debido a valores más altos de IVI en especies raras que en especies de mayor importancia. El guacamayo (*Albizia niopoides*) fue la especie con mayor abundancia y dominancia en cinco de los siete bosques evaluados; lo cual ratifica la importancia ecológica en procesos como la estabilización de taludes (usos potenciales), protección de mantos acuíferos y recuperación de suelos (al ser una especie fijadora de nitrógeno) entre otros. De acuerdo a los índices convencionales para la evaluación de la estructura horizontal del bosque se logra identificar al guacamayo como la especie de mayor peso ecológico dentro del ecosistema; además fue la especie con mayor frecuencia en el área de bosque, ya que de 944 individuos hallados está distribuido en más del 61 % de los transectos evaluados. En la siguiente [tabla](#) se muestra esta estructura.

**Tabla 3.** IVI promedio para el total de los bosques evaluados

Especies	Bajo	Borrachera	Carlos	Carlos	Cascajo	Galván	San	Promedio
	Morrocoy		Osorio 1	Osorio 2			Rafael	
Guacamayo	4 %	46 %	51 %	66 %	32 %	40 %	60 %	43 %
Santa Cruz	2 %	26 %	33 %	44 %	26 %	26 %	29 %	27 %
Chicho	5 %	36 %	24 %	33 %	25 %	39 %	17 %	26 %
Ceiba de leche	80 %	9 %	4 %	0 %	12 %	1 %	0 %	21 %
Hobo	20 %	24 %	6 %	5 %	42 %	26 %	0 %	20 %
Siete cueros	0 %	9 %	14 %	21 %	25 %	24 %	0 %	19 %
Palo de agua	63 %	5 %	5 %	0 %	2 %	0 %	0 %	18 %
Aromo	0 %	10 %	19 %	7 %	5 %	13 %	54 %	18 %
Guásimo	49 %	21 %	4 %	8 %	9 %	17 %	0 %	18 %
Trébol	0 %	33 %	12 %	11 %	6 %	16 %	20 %	16 %
Látigo	0 %	8 %	22 %	12 %	0 %	9 %	0 %	13 %
Guayacán	0 %	3 %	11 %	3 %	1 %	1 %	37 %	9 %
Sapo	3 %	6 %	3 %	15 %	16 %	7 %	0 %	8 %
Úvito	5 %	16 %	1 %	4 %	3 %	18 %	12 %	8 %
Cocuelo	15 %	8 %	5 %	2 %	6 %	3 %	0 %	6 %
Otras especies	3 %	1 %	3 %	3 %	3 %	2 %	8 %	2 %

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Con el fin de corroborar si el comportamiento es de homogeneidad o heterogeneidad de los bosques se realizaron histogramas de frecuencia según lo propuesto por Melo y Vargas (2003) donde “valores altos en clases IV-V y valores bajos en I-II, indican la existencia de una composición florística homogénea o parecida, mientras que altos valores en las clases I-II, indican una heterogeneidad florística acentuada” (p. 55). Los histogramas de frecuencia realizados para los bosques evaluados reflejan una heterogeneidad marcada de cada uno de los relictos debido a que las frecuencias en todas las áreas analizadas se ubican en la categoría I. Esto determina que estos bosques son zonas de gran variedad y riqueza florística; no obstante, no lo suficiente para considerarse como relictos de Bs-T debido a que se encuentra por debajo del número de especies que deberían presentarse por unidad de área para las condiciones de la zona Caribe.

Es importante resaltar que en estudios previos realizados en Bs-T por el IAVH (1998) se logró evidenciar mediante muestreos realizados de 0,1 ha —y teniendo en cuenta para el análisis solamente los individuos fustales y latizales— que en el ecosistema típico de Bs-T el número de especies encontradas se ubican en rangos de 50 a 70, siendo el valor promedio de 64,9 para las diferentes zonas del país que tienen remanentes de Bs-T. Por tanto, se espera que “los remanentes en Colombia presentan valores de riqueza de plantas esperados para el Bosque seco Tropical, con un promedio de 58.12 (n = 8; rango 5567) especies con DAP > 2.5 cm en 0.1 ha” (IAVH, 1995, p. 56). Teniendo en cuenta estas cifras se puede inferir que los bosques estudiados en El Carmen de Bolívar han perdido sus características relictuales al presentar valores inferiores a los mencionados, dando como promedio para el muestreo de 0,1 ha un valor de 37,8 especies; quedando por debajo

del rango tipificado para este tipo de bosques. La vegetación que se exhibe es propia de esta zona de vida. Sin embargo tienen un alto grado de intervención, encontrándose en un proceso de sucesión secundaria y evidenciándose la pérdida de especies propias de este ecosistema.

Con el resultado del análisis estructural se puede concluir que la formación vegetal estudiada exhibe características en especies de Bs-T. No obstante, no puede considerarse como un bosque representativo de este tipo de ecosistema dado que presenta debilidades estructurales por efecto de actividades de origen antropogénico. Es por esta razón que “las fallas tectónicas y las regiones con terreno abrupto y escarpado que son difíciles de usar por el ser humano, son determinantes para la preservación de los parches de bosque seco que aún quedan en el territorio colombiano” (Pizano y García, 2014, p. 34).

### **Estimación y valoración de existencias de biomasa aérea (CO<sub>2</sub>)**

Según los datos agrupados por familia taxonómica de captura de CO<sub>2</sub>, los bosques estudiados no presentan dominio de un grupo particular de especies vegetales sino que se encuentran mezclados por una variedad de especies que pertenecen en su mayoría a la familia **Fabaceae**. De acuerdo al promedio de captura de CO<sub>2</sub> consolidado por familia, las especies pertenecientes a **Apocynaceae** son las que presenta mayores tasas de captura en promedio por árbol; sin embargo solo está representada por una sola especie en la totalidad de los bosques; mientras que la familia **Fabaceae** tiene mayor variedad de especies en la zona de bosque dado que se encuentra representada por más de 2600 individuos (el 49,6 % de la muestra), por lo tanto tiene mayor captación absoluta de CO<sub>2</sub> en el total del ecosistema estudiado con más del 50 % del total de CO<sub>2</sub> capturado al aplicar la fórmula del IDEAM y más del 30 % en los cálculos realizados con otros métodos. Aunque hay un número importante de especies nativas de ese tipo estas son principalmente **caducifolias**, lo que reduce el **stock** de captura de CO<sub>2</sub> debido a los ciclos de defoliación natural.

Esta familia (**Fabaceae**) no solo es importante por su representatividad dentro del ecosistema Bs-T estudiado, sino también por su simbiosis con bacterias del género **Rhizobium** que se albergan en la raíz de la planta fijando el nitrógeno requerido para poder desarrollarse y mejorar las condiciones del suelo; evitando, además, acabar con las reservas de este nutriente en el mismo. Sin embargo la condición de dominancia de las **Fabaceae** en estos bosques puede limitar la expansión del bosque nativo en la zona debido a que, desde el punto de vista edáfico, las especies propias de esta familia tienen sistemas radiculares que se profundizan en el suelo en lugar de extenderse a la superficie; por ello no pueden tener corazas ni material rocoso que impida su desarrollo radicular porque no podrían adaptarse, lo que disminuye el abanico de oportunidades para expandirse y regenerarse rápidamente. De este modo las diferencias en la captura de carbono en los diferentes sistemas de bosque analizados dependen fundamentalmente del tipo de especies, más que de las densidades y la altura; esto explica la diferencia entre el mayor **stock** acumulado en bosques con menor densidad como es el caso de los transectos analizados en Borrachera y Galván. A continuación se presenta la estructura total de captación de CO<sub>2</sub> para todo el sistema de bosque por hectáreas.

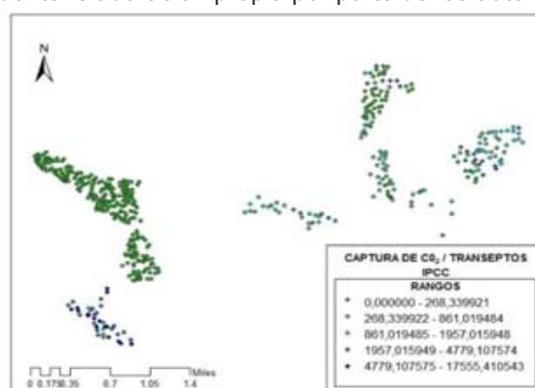
**Tabla 4.** Densidad y captación de CO<sub>2</sub> (toneladas/ha) en el área de estudio

Bosque	Densidad		Toneladas/ha	
	árboles/hectárea	IDEAM	Chave (2005)	IPCC
Bajo de Morrocoy	41411	18,74	149,48	194,79
Borrachera	6457	72,59	190,08	178,52
Carlos Osorio 1	42320	23,06	51,67	43,50
Carlos Osorio 2	17763	14,07	24,97	19,53
Cascajo	24628	15,75	51,01	48,78
Galván	100	13,87	30,25	26,12
San Rafael	5075	7,55	15,66	12,3
Promedio	19679	23,7	73,3	74,8

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

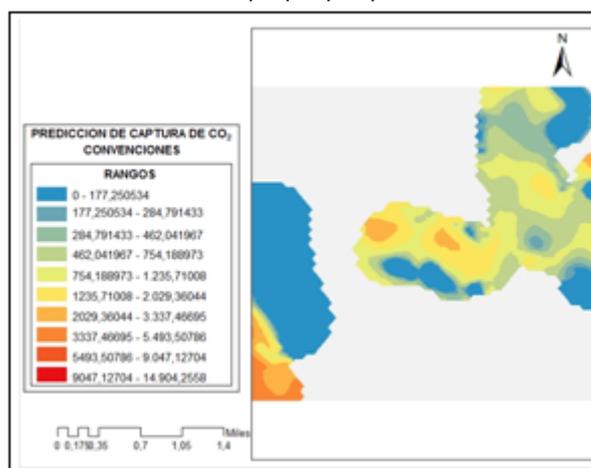
En concordancia con lo anterior, los resultados matemáticos indican que no es propiamente el tamaño del bosque el factor determinante en la captura de carbono. Es de anotar que a pesar de que la abundancia de los individuos y su área de ocupación son factores de evaluación decisiva dentro de la valoración de su importancia ecológica, no son variables que expliquen una relación directa entre estas y la captura de CO<sub>2</sub> dado que no se evidencia correlación con ninguna de las variables tenidas en cuenta para el estudio. Esto permite inferir que las características fenológicas de cada una de las especies juegan un papel importante en el comportamiento en la relación captura CO<sub>2</sub>/especie. No obstante, ya que ninguna de las variables explica en su totalidad los componentes asociados a la captura de CO<sub>2</sub> por especie, es necesario tener en cuenta el metabolismo de las plantas vasculares en la fijación fotosintética del carbono como una variable importante para futuras investigaciones. Este hecho se debe a que, al tener en cuenta este proceso, las tasas de captura de carbono pueden ser más o menos eficientes si se considera que estas son adaptaciones de las plantas a las condiciones medioambientales en las que se desarrollan. Para el caso del Bs-T se notan condiciones de estrés hídrico y temperaturas extremas. A continuación, se presentan los mapas de estimación de puntos de concentración de CO<sub>2</sub> por transecto.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.



**Figura 3.** Concentración de CO<sub>2</sub> por transecto.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.



**Figura 4.** Área con mayor probabilidad de captura de CO<sub>2</sub>.

Al realizar el análisis de CO<sub>2</sub> almacenado, asociado a diferentes densidades de vegetación/ha es claro que a mayor densidad de árboles/ha hay mayor captura de CO<sub>2</sub>. Sin embargo llama la atención el resultado de Galván comparativamente con los demás bosques porque se evidencia muy poca densidad de árboles en el compartimento fustal (100 árboles/ha) y aun así está por encima de bosques como San Rafael y Cascajo en el volumen de toneladas de CO<sub>2</sub>eq almacenado en la biomasa. Esto permite inferir que los bosques que presentan menor densidad por hectárea pero mayor captura de CO<sub>2</sub> tienen mayor desarrollo debido a que poseen mayor biomasa. Las cifras son concluyentes, y son un indicativo de que los valores de captura de CO<sub>2</sub> no están asociados al área sino al desarrollo de la masa boscosa; esa afirmación se puede validar al confrontar los datos, ya que en la mayoría de los cálculos de captura el fragmento la Borrachera presenta una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> capturado/ha comparativamente con el Bajo de Morrococoy que presenta más del doble de los individuos y cuyas cifras de captura de CO<sub>2</sub> son inferiores. La siguiente es la estructura general de acumulación de carbono para toda el área analizada.

**Tabla 5.** Captación de CO<sub>2</sub>. Toneladas totales de acuerdo a IDEAM, Chave (2005) e IPCC

Bosque	IDEAM	Chave (2005)	IPCC	Promedio
Bajo de Morrococoy	356,09	2840	3700	2299
Borrachera	10670	27942	26242	21618
Carlos Osorio 1	576,48	1291	1087	985,25
Carlos Osorio 2	886,45	1573	1230	1230
Cascajo	393,85	1275	1219	962,87
Galván	790,52	1724	1488	1334
San Rafael	60,43	125,25	98,40	94,6
<b>Total general</b>	<b>13734</b>	<b>36772</b>	<b>35067</b>	<b>28524</b>

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Los niveles de concentración de carbono coinciden para los modelos analizados en la totalidad de transectos. Las zonas de mayor concentración de carbono están asociadas a los boques del Bajo de Morrocoy, Borrachera y Galván, lo que puede explicarse por tres aspectos importantes: la altura; la densidad y las especies. El primero se aprecia en Galván donde a pesar de tener baja densidad, los árboles son de gran magnitud; por tanto, tienen una acumulación importante de biomasa. El segundo se aprecia en el Bajo Morrocoy que, aunque no tiene árboles de gran magnitud, posee una sumatoria de biomasa representada en muchos individuos. Finalmente en el fragmento la Borrachera es donde se notan los niveles más altos de CO<sub>2</sub> capturado/ha comparativamente, lo que está relacionado con el tipo de especies y no con la densidad y la altura.

Asimismo, se evidencia que hay una relación directa entre el grado de madurez y el valor estimado en términos económicos. Esto se nota en el Bajo de Morrocoy que tiene mayor cantidad de árboles/ha pero de menor desarrollo, por lo que el CO<sub>2</sub>eq expresado en dólares es menor al de Borrachera que tiene menor cantidad de árboles/ha pero con un grado mayor de desarrollo; de ahí que su valor en términos económicos es mayor o, al menos, en materia de valoración de servicios ambientales, parece ser más estratégico para la conservación.

Según la estimación realizada sobre captura de CO<sub>2</sub> en Bs-T en El Carmen de Bolívar, promediando los resultados obtenidos a partir de las estimaciones alométricas, se puede concluir que estos bosques se comportan como buenos sumideros con aproximadamente 57,2 toneladas/ha de CO<sub>2</sub>eq; lo que representa un valor de 637,22 dólares/ton/ha. En total los servicios ambientales que ofrece el bosque, enfocados a captura de CO<sub>2</sub>, en términos económicos, se logra estimar que su valor sería de US\$ 317480 promediando los valores de los tres modelos empleados. En la [tabla 6](#) se presenta la valoración económica de las existencias de biomasa expresada en dólares por tonelada para el total de fragmentos de bosque.

**Tabla 6.** CO<sub>2</sub>eq almacenado, dólares/tonelada/total

<b>Bosque</b>	<b>IDEAM</b>	<b>Chave (2005)</b>	<b>IPCC</b>
<b>Bajo de Morrocoy</b>	3.963	31.610	41.191
<b>Borrachera</b>	118.759	310.998	292.076
<b>Carlos Osorio 1</b>	6.416	14.378	12.103
<b>Carlos Osorio 2</b>	9.866	17.511	13.693
<b>Cascajo</b>	4.384	14.194	13.572
<b>Galván</b>	8.798	19.190	16.572
<b>San Rafael</b>	673	1.394	1.095
<b>Total general</b>	152.860	409.277	390.304

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

El valor de referencia que se toma para hacer la estimación de los servicios ambientales de captación de CO<sub>2</sub> en las áreas de bosque es de US\$ 11,13 por tonelada, que equivale al valor promedio de la serie de precios de referencia que se tomó del Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> entre 2008 y 2015. No se consideró necesario hacer deflactaciones para los períodos de

referencia, ya que solo se busca un valor estimado para hacer la cuantificación monetaria de los servicios ambientales de cada unidad de bosque como un ejercicio académico que no pretende suponer algún valor transaccional a un ecosistema amenazado; de igual manera la tendencia indica que el precio por tonelada viene disminuyendo en razón de que se diversifica la oferta ambiental que ingresa al mercado de carbono, por lo que con el tiempo los servicios ambientales de este ecosistema tenderían a subvalorarse si se toma esta medida como un indicador absoluto de su importancia.

---

## CONCLUSIONES

Los servicios que proveen los recursos naturales pueden por lo general pasar desapercibidos debido a la falta de identificación y cuantificación económica de la importancia y beneficios que estos ofrecen. En el caso del Bs-T, la situación no es diferente: la mayoría de estos bosques son degradados constantemente por las comunidades generando perjuicios de gran magnitud al ecosistema y dinámica en general. La cacería, la minería y la tala indiscriminada de los bosques secos para usos domésticos y en ocasiones comerciales han venido ocasionando cambios en el comportamiento ambiental, en la disponibilidad hídrica y en la oferta ambiental. Una de las estrategias para evitar el deterioro desmesurado de los recursos naturales consiste en la asignación de un valor económico a estos con fin de facilitar la toma de decisiones acerca del manejo y usos que estas áreas deban recibir. No obstante, estos valores solo pueden ser estimaciones de referencia que propendan especialmente por la conservación ambiental dado que no pueden tomarse literalmente como valores transaccionales que sustituyan mercantilmente un ecosistema.

Los bosques en los que se realizó el inventario han perdido sus características originales como consecuencia de actividades de origen antropogénico y se han sometido a procesos de selección disgénica, deriva genética y endogamia, por lo que la vegetación que se exhibe no es similar a la que caracteriza al Bs-T. Podría decirse entonces que se ha disminuido la riqueza de especies tanto de flora como de fauna, así como su frecuencia al interior del ecosistema. La evaluación del componente florístico permite identificar 63 especies nativas de las cuales el guacamayo (*Albizia niopoides*) es la especie de mayor importancia ecológica en el ecosistema. Por otra parte, si bien el número de especies no es suficiente para considerarse como Bs-T, la zona de estudio tiene una alta variedad de especies que permiten la estabilización y permanencia de la cadena trófica y desde el punto de vista genético es un verdadero banco *in situ* que merece la implementación de estrategias para su conservación.

La cobertura vegetal de los bosques estudiados está constituida por vegetación de sucesión secundaria donde en todos los sectores solo el 0,00136 % de la vegetación presenta un DAP superior a 30 cm. Es necesario entonces generar medidas de conservación para que el bosque se recupere totalmente bajo modelos que permitan preservar la zona, vinculando a los habitantes para que sea más sostenible en el tiempo. Si bien la relación de abundancia, frecuencia y dominancia en sus valores absolutos y relativos indica la importancia ecológica de una especie en el ecosistema, no son estos parámetros ni sus variables las que pueden explicar una relación directa con la captura

de CO<sub>2</sub>. La validación del comportamiento real de este fenómeno debe incluir, además, el comportamiento de las especies en su zona de vida y los posibles impactos generados por el desarrollo de actividades antrópicas dentro o alrededor de los mismos. Los bosques estudiados se comportan como un sumidero de unas 57,2 toneladas de carbono/ha, aumentando anualmente debido a que están en período de crecimiento y madurez. La mayor parte del carbono almacenado es equivalente al crecimiento de la biomasa aérea posterior a la defoliación.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, E. (2015). Panorama regional del desarrollo sostenible en América Latina. *Revista Luna Azul*, 40, 195-212.
- Chave, J. et al. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99.
- Farber, S., Costanza, R. and Wilson, M. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 41 (3), 375-392.
- Frankham, R. (2006). Genetics and Landscape Connectivity. En Crooks, K.R. and Sanjayan, M. (Eds.), *Connectivity Conservation*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- García, V. y Sánchez, L. (2009). *Estimación de carbono contenido en el bosque bajo manejo forestal del ejido de Tlalmanalco* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.
- Gentry, A.H. (1982). Patterns of neotropical plant diversity. *Evolutionary Biology*, 15, 18-84.
- GESAM. (2013). *Estudio de impacto ambiental para el área de perforación exploratoria. VIM-2 en los departamentos del Magdalena y Bolívar*. Bogotá, Colombia: GESAM.
- Haro-Martínez, A. y Taddei-Bringas, I. (2014). Sustentabilidad y economía: la controversia de la valoración ambiental. *Economía, Sociedad y Territorio*, 14 (46), 743-767.
- Holdridge, L. (1971). *Life Zone Ecology*. San José, Costa Rica: Centro Científico Tropical.
- IAVH. (1995). *El Bosque Seco Tropical (BS-T) en Colombia*. Recuperado de [Link](#).
- IAVH. (1998). *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Recuperado de [Link](#).
- Iftekhar, M.S. et al. (2017). How economics can further the success of ecological restoration. *Conservation Biology*, 31 (2), 261-268.
- IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Kanagawa, Japan: IGES.
- Machín, M. y Casas, M. (2006). Valoración económica de los recursos naturales: perspectiva a través de los diferentes enfoques de mercado. *Revista Futuros*, 13 (4), 9.
- Melo, O. y Vargas, R. (2003). *Evaluación ecológica y silvicultura de ecosistemas boscosos*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima.

- Pérez, M. y Díaz, J. (2010). **Estimación de carbono contenido en la biomasa forestales aérea de dos bosques andinos en los departamentos de Santander y Cundinamarca** (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
  - Pizano, C. y García, H. (2014). **El Bosque Seco en Colombia**. Bogotá, Colombia: IAVH.
  - Rangel-Acosta, J.L. y Martínez-Hernández, N.J. (2017). Comparación de los ensamblajes de escarabajos copronecrófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) entre fragmentos de bosque seco tropical y la matriz adyacente en el departamento del Atlántico-Colombia. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, 88 (2), 389-401.
  - Soto-Sandoval, Y. et al. (2017). Efecto de los estadios sucesionales del bosque tropical seco sobre el microhábitat usado por *Agalychnis dacnicolor* (Anura: Phyllomedusidae) y *Smilisca fodiens* (Anura: Hylidae). **Revista de Biología Tropical**, 65 (2), 777-798.
  - Talero, E. y Umaña, G. (2000). **Modelo de educación ambiental para la capacitación de docentes**. Bogotá, Colombia: Red Académica, Universidad Pedagógica Nacional.
  - Tomasini, D. (1995). Bases económicas para el manejo de los recursos naturales. En Anaya, M. y Díaz, F. (Eds.), **Memorias para el IV Curso sobre Desertificación y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe**. Montecillo, México: Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas.
  - Vincenti, B., Amaral, W. y Meilleur, B. (Eds.) (2004). **Desafíos de la ordenación de los recursos genéticos silvícolas para contribuir a la subsistencia: ejemplos de Argentina y Brasil**. Roma, Italia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
  - Yepes, A. et al. (2011). **Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia**. Bogotá, Colombia: IDEAM.
  - Zamora, J. (2003). **Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido "La Majada" municipio de Periban de ramos, Michoacán** (tesis de pregrado). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Uruapan, Michoacán, México.
  - Zanne, A. et al. (2009). **Global Wood density database**. Recuperado de [Link](#).
  - Zúñiga, H. (2009). **Elaboremos un estudio de impacto ambiental**. Recuperado de [Link](#).
- 

1. Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Especialista en Restauración de la Fundación Grupo Argos, Correo: [lilitozuluaga@gmail.com](mailto:lilitozuluaga@gmail.com).
2. Estudiante del Doctorado en Estudios Territoriales de la Universidad de Caldas. Investigador del Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD), Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. correo: [ecastro@umanizales.edu.co](mailto:ecastro@umanizales.edu.co).

3. Según Vincenti, Amaral y Meilleur (2004) “se trata de una selección que va en detrimento de la calidad genética de una población puesto que afecta rasgos fenotípicos tan importantes como la derecha del tronco o el índice de crecimiento” (p. 14).
4. En un estudio para América Latina se logró evidenciar que la dimensión ambiental explica el 18,7 % de los resultados del desarrollo sostenible en los países de la región (Castro, 2015).

---

**Para citar este artículo:** Zuluaga, L. y Castro, E. (2018). Valoración de servicios ambientales por captura de CO2 en un ecosistema de bosque seco tropical en el municipio de El Carmen de Bolívar, Colombia. *Revista Luna Azul*, 47, 01-20. DOI: [10.17151/luaz.2019.47.1](https://doi.org/10.17151/luaz.2019.47.1). <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php/component/content/article?id=293>

---

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

