



REVISIÓN DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO ALMACENADAS EN BOSQUES NATURALES

Presentado por: Magda Yolima Fernández Losada

Tutor: Erika Johana Ruiz Suárez

Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos
Naturales

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería
2017

RESUMEN

Los impactos del cambio climático se han hecho evidentes en todo el mundo y algunos de los efectos se materializarán en el futuro debido a las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero - GEI ya depositadas en la atmósfera. Por esta razón, se debe buscar acciones que permitan reducir la emisión de los GEI, siendo los ecosistemas forestales un elemento importante para la mitigación de esta problemática, debido a que los bosques tienen la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura mediante la fijación y el almacenamiento a través de la fotosíntesis, convirtiéndolos en potenciales sumideros de carbono y aportadores a la mitigación del cambio climático.

De acuerdo con los beneficios que los bosques brindan, el carbono debe ser cuantificado para conocer la cantidad de carbono que cada árbol captura, para ello, se emplean diferentes métodos de cálculo, entre los que se destacan los basados en ecuaciones alométricas y aquellos para los que se generan factores de expansión.

El presente trabajo tiene como objetivo describir dos métodos utilizados para la estimación de captura de carbono en los bosques naturales y que se ajustan a las condiciones y características de los bosques de Colombia.

PALABRAS CLAVE: Captura de carbono, cambio climático global, sumideros de carbono, bosques naturales.

ABSTRACT

The impacts of climate change have become evident all over the world and some of the effects will materialize in the future due to concentrations of greenhouse gases - GHG already deposited in the atmosphere. For this reason, action should be taken to reduce GHG emissions, with forest ecosystems being an important element in mitigating this problem, because forests have the capacity to assimilate carbon and incorporate it into their structure through Fixation and storage through photosynthesis, turning them into potential carbon sinks and contributors to climate change mitigation.

According to the benefits that forests provide, carbon must be quantified to know the amount of carbon that each tree captures. For this purpose, different calculation methods are used, among which are those based on allometric equations and those which generate expansion factors.

The present work aims to describe two methods used for the estimation of carbon capture in natural forests and that conform to the conditions and characteristics of the Colombian forests.



KEY WORDS: Carbon sequestration, global climate change, carbon sinks, natural forests.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es la problemática ambiental más relevante que enfrenta el mundo, debido a que este fenómeno tiene impactos negativos sobre la forma de vida, alterando los patrones de temperatura y de precipitación, además, genera desastres naturales como sequías, inundaciones, tormentas, granizadas e incendios. El cambio climático puede también causar la extinción de gran cantidad de especies, aumentar el nivel del mar, entre otros impactos. [1]

Diversos estudios desarrollados por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Protocolo de Kyoto, los reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) y a nivel nacional las comunicaciones de cambio climático del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), indican que el cambio climático está relacionado principalmente por las altas concentraciones de Gases de Efecto Invernadero – GEI en la atmósfera, los cuales se derivan principalmente, por acciones antrópicas, relacionadas con la deforestación, expansión de la frontera agrícola y quema de combustibles fósiles como el carbón, incrementando la temperatura del planeta y provocando alteraciones en el sistema climático. [1]

Los bosques juegan un papel importante para mitigar el cambio climático, pues en las hojas, ramas, troncos, raíces, madera muerta e incluso en el suelo de los bosques, se almacena gran cantidad de carbono (uno de los seis gases que causan el efecto invernadero), al talar o quemar los bosques, este carbono que estaba almacenado queda libre y vuelve a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂), contribuyendo a la acumulación de GEI y por ende produciendo efectos en la variabilidad climática [1].

Colombia es un país de bosques, estos cubren el 50% del territorio, sin embargo, hasta el año 2015 un total de 124.035 hectáreas fueron deforestadas como consecuencia de la minería, la tala de árboles ilegales, la conversión de las zonas en áreas agropecuarias y los incendios forestales [2].

“De esta manera, las actividades que reduzcan las tasas de deforestación, incrementen la reforestación y mejoren el potencial de captura de carbono de las coberturas forestales, especialmente las naturales, son vistas como alternativas viables para mitigar las emisiones potenciales de GEI”. [3]

Las instituciones del país, han venido desarrollando esfuerzos para controlar la deforestación y la degradación de los bosques naturales, ejecutando acciones para fortalecer la gestión de conservación y manejo sostenible de los mismos, entre ellos se encuentra la implementación de la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y la Degradación de Bosques; Conservación y aumento de las Reservas de Carbono y Manejo Sostenible de los Bosques - REDD+ , cuyo objetivo es contribuir a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono producidas por la deforestación y degradación de los bosques, para así atenuar el cambio climático.

Con esta estrategia, se espera además contribuir a conservar y mejorar los servicios que prestan los bosques y aportar al desarrollo de las comunidades que los habitan o dependen de éstos. [1]

Para mitigar la emisiones de GEI por medio de la conservación de bosques, es indispensable contar con la información básica sobre el contenido de carbono en los diferentes depósitos que puede tener un ecosistema, como es en la Biomasa de plantas vivas (aérea y subterránea) Biomasa de plantas muertas (aérea y subterránea) Suelo (en materia orgánica d la tierra y, en cantidades ínfimas, como biomasa animal y de microorganismos). Es por esto que para la implementación de proyectos REDD+, entre las principales actividades que se deben realizar están: “Estimar las reservas o contenidos de carbono almacenadas en los bosques y cuantificar y monitorear la localización y extensión de la deforestación de los bosques. [3]

Conocer la cantidad de almacenamiento de carbono y su intercambio con la atmósfera en los bosques es de particular importancia para su conservación y para implementar medidas de mitigación del cambio climático, además, para incrementar la cantidad de sumideros, prevenir o reducir la tasa de liberación de carbono ya fijado en los sumideros existentes, reduciendo la deforestación, la degradación forestal e incrementar el uso de recursos renovables.

La acumulación de carbono en la vegetación forestal varía en función de la edad, diámetro, altura de los árboles, densidad de la plantación de cada estrato y la asociación vegetal de los bosques, teniendo en cuenta lo anterior, para conocer las toneladas equivalentes que absorbe y acumula un ecosistema forestal se requiere realizar estudios mediante la selección de métodos según las características de las especies pertenecientes a un área determinada. [2]

Existen diferentes métodos que incluyen conjuntos de datos y cálculos que permiten la estimación de carbono, los cuales la disponibilidad de estos datos depende para la elección del método, además es necesario conocer los recursos económicos y las capacidades técnicas para recopilar nuevos datos.



El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una revisión de los métodos que permitan estimar la captura de carbono de manera apropiada en bosques naturales de Colombia, según los estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

1. MATERIALES Y METODOS

En el año 2015, durante la cumbre sobre Cambio Climático COP 21 realizada en París, Colombia adquirió compromisos cuyos objetivos están encaminados a reducir en un 20% las emisiones de Gases de Efecto Invernadero-GEI con relación a las emisiones proyectadas a 2030, en aumentar la resiliencia y la capacidad adaptativa del país, en fomentar el intercambio de conocimiento, tecnología y financiamiento para acelerar las contribuciones planteadas en materia de adaptación y mitigación. [1]

Los ecosistemas forestales juegan un papel de gran importancia para el cumplimiento de los compromisos en la COP 21, ya que tienen la capacidad de disminuir el efecto invernadero naturalmente, pues durante su crecimiento absorben el CO₂ de la atmósfera y lo convierten en carbono, este proceso de capturar carbono de la atmósfera contribuye a la mitigación del cambio climático, de forma inversa con la destrucción de un bosque o su degradación se libera hacia la atmósfera el carbono que alguna vez fue almacenado, contribuyendo a agravar el problema del cambio climático. [1]

Para cuantificar la contribución de los bosques a la reducción de las emisiones se hace necesario contabilizar las fuentes y sumideros de carbono a lo largo del tiempo, permitiendo determinar los montos de carbono por unidad de superficie y tipo de bosques, siendo esto la base para la toma de decisiones frente a las estrategias de conservación que se deben desarrollar respecto a la mitigación y el avance hacia territorios resilientes bajos en carbono. [4]

Estudios científicos, han venido desarrollando metodologías estandarizadas para realizar las estimaciones de carbono a nivel nacional y regional, esta información detalla cada uno de los pasos que se deben realizar para lograr un baja incertidumbre respecto a la contabilización del carbono.

Para este trabajo, se tomaron dos métodos utilizados a nivel de país para la estimación de carbono en bosques naturales. Lo que se pretende es realizar una revisión de estos métodos mediante información secundaria, para la cual se plantea la siguiente metodología:

FASE 1: Identificación de métodos para la estimación de carbono

Los métodos se identificaron de acuerdo con la información secundaria disponible y publicada por el IDEAM. Estos estudios se han realizado para la estimación de carbono en bosques naturales de Colombia, donde se han empleado métodos de

análisis con una baja incertidumbre que rodea este tipo de mediciones y según con las características de la información disponible para realizarla.

FASE 2: Establecer el procedimiento necesario para la aplicación de los métodos

Posterior a la identificación de los métodos se establecen los parámetros a estudiar los cuales son los siguientes:

- Definición del área del proyecto
- Selección del compartimiento de carbono a medir
- Selección de los individuos a medir
- Establecimiento de parcelas
- Marcación de árboles
- Medición de árboles

El objetivo principal es facilitar que los interesados en desarrollar proyectos, tengan claro estas actividades, y apliquen adecuadamente el protocolo que se propone para ello.

FASE 3: Selección de ecuación alométrica para la estimación de biomasa aérea en bosques naturales según el método indirecto

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura se estableció y se seleccionó la ecuación alométrica para la estimación de la biomasa; la ecuación es la siguiente:

$$\ln[BA] = a + b \ln [D] + c [\ln [D]]^2 + d [\ln[D]]^3 + B1 \ln [\rho](1)$$

$$\ln[BA] = a + B1 \ln[D](2)$$

$$\ln[BA] = a + B1 \ln[D^2 H \rho] (3)$$

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 IDENTIFICACIÓN DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CARBONO

En la literatura se pueden encontrar diversos métodos que se utilizan para la contabilización del carbono de los árboles, en este trabajo se identificaron dos métodos para la estimación de carbono en la biomasa aérea los cuales son: el método directo y el indirecto.



El método directo o destructivo es utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y consiste en cosechar la biomasa de todos los árboles en un área conocida, secarla y pesarla.

Este método es utilizado convencionalmente para proyectos locales, pero implica altas inversiones de tiempo, recursos y mano de obra por lo cual no es recomendado para niveles regionales o escalas nacionales.

El método indirecto, por su parte, consiste en utilizar las ecuaciones alométricas que actualmente existen en la literatura, y que fueron generados a partir del método directo, con el fin de realizar los cálculos de biomasa necesarios para los proyectos. En este caso, solo es necesario medir las variables más relevantes en campo e incluirlas posteriormente a la ecuación seleccionada.

Para tener una mayor confiabilidad en el resultado, el método para cuantificar el carbono almacenado en los bosques con menor incertidumbre es el método directo, sin embargo, esta técnica implica inversiones altas de tiempo, recursos y mano de obra, por lo cual es poco recomendable aplicarlo a escalas regionales o nacionales.

En Colombia, el IDEAM realizó un protocolo para la estimación nacional y sub-nacional de carbono en los bosques, el cual fue elaborado a partir de análisis estadísticos empleando información secundaria suministrada por diferentes instituciones e investigadores nacionales e internacionales, además se realizó una revisión de literatura para otras coberturas y compartimientos.

Para el caso de la estimación de los contenidos de carbono en bosques se identificaron los métodos directos e indirectos, pero dada las características de los bosques colombianos, las diferentes coberturas, usos de la tierra y comportamiento de carbono el método utilizado fue el indirecto, es aquí donde los desarrolladores de proyectos pueden afirmar que la aplicación de este método puede dar resultados importantes y confiables en el desarrollo de proyectos encaminados a conocer el contenido de carbono en los bosques.

Teniendo en cuenta; se puede evidenciar desde mi apreciación si bien, existen estudios precisos sobre el carbono almacenado en bosques por medio del método indirecto y que se pueden utilizar según el interés y la importancia que tenga un proyecto, es necesario que los entes territoriales e instituciones públicas inviertan de manera considerable en métodos directos, el cual, aunque requiere más experticia, tiempo y recursos económicos, este permite conocer de manera exacta el comportamiento del carbono tanto en lo que se acumula como en lo que se emite a la atmosfera. En este sentido, teniendo estos resultados con una mínima incertidumbre, se pueden tomar decisiones más certeras que conlleven a la conservación de los bosques, conocer su importancia y por su puesto aportar significativamente a la mitigación del cambio climático.

2.2. ESTABLECER EL PROCEDIMIENTO NECESARIO PARA LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS

2.2.1. MÉTODO DIRECTO

2.2.1.1. Definición del área del proyecto

En el momento de desarrollar un proyecto de tipo forestal, se debe definir el área donde se realizarán las intervenciones o actividades de proyecto. Para definir los límites de un proyecto, es necesario contar con cartografía actualizada y detallada, que les permita tomar decisiones sobre dónde establecer las actividades, lo cual depende también de sus necesidades y objetivos. [5]

2.2.1.2. Selección del compartimiento de carbono a medir

Según los informes presentados por el IPCC (2003, 2006), existen diferentes compartimientos, reservorios o depósitos de carbono que pueden ser medidos, los cuales los principales biomasa aérea, detritos o madera muerta, biomasa subterránea o sistema radical (raíces gruesas y finas) y suelos [5]

Esta selección se realiza de acuerdo con el proyecto a realizar, en caso de los proyectos REDD+ es obligatorio cuantificar el carbono de la biomasa aérea. Esto también depende de los recursos económicos, tiempo y objetivo que se tenga.

2.2.1.3. Selección de los individuos a medir

Para esta selección de debe tener en cuenta la información presentada en los estudios de composición florística y los inventarios rápidos realizados en las áreas de trabajo. Una vez se hayan seleccionado los individuos se debe medir el diámetro del fuste del árbol (D) y medición del diámetro de la copa (Dc). [6]

“Después de que el árbol es derribado se toman las mediciones relacionadas con altura de fuste (HF), altura cero de profundidad de copa de ramas (HPCR), altura cero de profundidad de copa de hojas (HPCH) y altura total (H)”. [6]

Es así como se pueden generar diferentes modelos alométricos que permiten calcular de manera confiable las reservas de carbono que presente un bosque.

2.2.2. MÉTODO INDIRECTO

2.1.2.1. Establecimiento de parcelas

Según la literatura, para este tipo de investigación, se recomienda utilizar parcelas cuadradas, que podrán ser establecidas de manera temporal o permanente, esto se define según las características, alcances y necesidades de cada proyecto.

“Generalmente la localización de las parcelas se realiza empleando cartografía del área o se emplean muestreos sistemáticos donde la ubicación de las parcelas se realiza de manera ordenada a partir de un primer punto seleccionado al azar. En ambos casos, el objetivo es evitar la selección subjetiva de las áreas para ubicación de las parcelas, que eventualmente podrían generar sesgos en las estimaciones. Cada parcela se deberá georreferenciar empleando para ello un GPS (Global Position System) en uno de los vértices previamente definido”. [5]

Una vez levantada la parcela, se recomienda elaborar un esquema con la Información básica requerida para la caracterización de las parcelas que se establezcan.

2.1.2.2. Marcación de árboles

Una vez se hay establecido la ubicación y cantidad de parcelas se debe realizar una marcación de cada uno de los individuos que estén enraizados dentro de las parcelas, para esta marcación se puede utilizar placas de aluminio con números manualmente escritos, y si son parcelas temporales los árboles podrán ser marcados con tiza o con marcas tenues de pintura. [5]

2.1.2.3. Medición de los árboles

Las variables para la medición de árboles son Diámetro, Altura, Taxonomía y colección botánica (opcional).

“El diámetro de los árboles es medido con corteza y se recomienda adoptar la altura estándar de 1,30 m como sitio de medición del diámetro (D), tomada desde el punto donde el tallo principal sale del suelo” [5]

La altura de un árbol puede ser medida directa o indirectamente. Las técnicas de medición directa se llevan a cabo en individuos caídos o derribados, donde por lo general se emplea una cinta métrica para tomar esta medida. Por lo general en los arboles más altos la altura es estimada de manera indirecta, usando instrumentos como clinómetros e hipsómetros. [5]

La información obtenida en campo se registrará en los formularios diseñados para tales fines, donde se incluirá los datos detallados de cada variable individuo. Esta información se debe diligenciar con letra legible, las observaciones cortas y concisas. [5]

Entre los métodos directos e indirectos para estimar carbono y debido a las condiciones de los ecosistemas forestales, se recomienda el segundo de ellos, pues involucra obtener los datos precisos de las variables involucradas en la estimación y el nivel de complejidad de tiempo y de recursos es menor al primero. Aunque la elección final de un método se tomará de acuerdo a los recursos existentes y a las condiciones de los ecosistemas a estudiar, es una buena estrategia la validación de los modelos generados

2.3 SELECCIÓN DE ECUACIÓN ALOMÉTRICA PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN BOSQUES NATURALES SEGÚN EL MÉTODO INDIRECTO.

Existen diferentes modelos de ecuaciones alométricas en la literatura científica que se aplican para la estimación Biomasa aérea en Colombia, y según los estudios realizados por el IDEAM existen 44 modelos de ecuaciones alométricas que se ajustan a las características de los ecosistemas boscosos colombianos.(Tabla 1) [5]

Tabla 1. Estudios que reportan modelos con utilidad potencial para estimar la biomasa de los árboles en Colombia.

Autor	Total Modelos	Lugar
Carvalho <i>et al.</i> (1998)	1	Amazonia Brasileña
Chambers <i>et al.</i> (2001)	1	Amazonia Brasileña
Higuchi <i>et al.</i> (1998)	1	Amazonia Brasileña
Álvarez <i>et al.</i> (en prep.a)	6	Colombia
Overman <i>et al.</i> (1994)	9	Colombia
Saldarriaga (1991)	3	Colombia
Zapata <i>et al.</i> (2003)	2	Colombia
Brown (1997)	6	Pantropical
Brown (1989)	4	Pantropical
Brown sin publicar; GEF (2005)	1	Pantropical
Chave <i>et al.</i> (2001)	2	Pantropical
Chave <i>et al.</i> (2005)	6	Pantropical
Lescure <i>et al.</i> (1983)	1	Pantropical
Ovington & Olson (1970)	1	Pantropical
Total	44	

Fuente: IDEAM -2011

De estos 44 modelos, se destacan 18 establecidos por Álvarez (*et al*2010) que son confiables y precisos, y que se recomiendan utilizar para la estimación de la biomasa aérea de los bosques de Colombia en el contexto de proyectos REDD+.

Para la aplicación de estos métodos se debe tener en cuenta el tipo de bosque y el subconjunto en el que se encuentre.

El primer subconjunto incluye variables predictivas de la biomasa aérea, al diámetro a la altura del pecho (D; cm) y la densidad de la madera (; g cm-3) “(1)”; el segundo subconjunto sólo incluye al diámetro (D; cm) “(2)”, y el tercer subconjunto incluye tres variables: diámetro a la altura del pecho (D; cm), altura (H; m) y densidad de la madera (; g cm-3) “(3)”. (Tabla 2) [5]

$$\ln[BA] = a + b \ln [D] + c [\ln [D]]^2 + d [\ln[D]]^3 + B1 \ln [\rho](1)$$

$$\ln[BA] = a + B1 \ln[D](2)$$

$$\ln[BA] = a + B1 \ln[D^2 H \rho] (3)$$

“Donde, BA es la biomasa aérea (kg); D (cm) es el diámetro a la altura del pecho medido a 1,30 m de altura sobre el suelo; ρ es la densidad de madera (g cm-3); H es la altura total del árbol; a, b, c, d, y B1 son constantes del modelo.”[5]

En cuanto a la densidad básica de la madera (ρ), debido a la complejidad de la determinación de ésta en campo, se propone emplear las bases de datos reportadas por el IPCC (2003, 2006). Cuando no se cuente con valores de densidad de la madera para una especie dada, se deberá utilizar el promedio del nivel taxonómico superior (Género o Familia). Para individuos sin información taxonómica (e.g. indeterminados) se deberá emplear el promedio de la densidad de las especies encontradas en toda la parcela. [5]

“Tipo de bosque: **bH-M**: bosque húmedo montano; **bh-MB**: bosque húmedo montano bajo; **bh-PM**: bosque húmedo premontano; **bh-T**: bosque húmedo tropical; **bp-T**: bosque pluvial tropical; **bs-T**: bosque seco tropical”. [5]

Tabla 2. Ecuaciones alométricas recomendadas para el cálculo de biomasa en bosques naturales de todos los árboles

Subconjunto 1. Variables independientes: diámetro $[D]$ y densidad de madera $[\rho]$ $\ln(BA) = a + b \ln(D) + c (\ln(D))^2 + d (\ln(D))^3 + B1 \ln(\rho)$						
Tipo de bosque	a	b	c	d	B1	R ²
bh-M	3,442	-1,809	1,237	-0,126	1,744	0,954
bh-MB	2,226	-1,552	1,237	-0,126	-0,237	
bh-PM	2,421	-1,415	1,237	-0,126	1,068	
bh-T	2,829	-1,596	1,237	-0,126	0,441	
bp-T	1,596	-1,225	1,237	-0,126	0,691	
bs-T	4,040	-1,991	1,237	-0,126	1,283	
Subconjunto 2. Variables independientes: diámetro $[D]$ $\ln(BA) = a + B1 \ln(D)$						
Tipo de bosque	a	b	c	d	B1	R ²
bh-M	-2,616				2,37	0,932
bh-MB	-1,663				2,37	
bh_PM	-1,866				2,37	
bh-T	-1,544				2,37	
bp-T	-1,908				2,37	
bs-T	-2,235				2,37	
Subconjunto 3. Variables independientes: diámetro $[D]$, altura $[H]$ y densidad de madera $[\rho]$ $\ln(BA) = a + B1 \ln(D^2 H \rho)$						
Tipo de bosque	a	b	c	d	B1	R ²
bh-M	-2,45				0,932	0,948
bh-MB	-1,993				0,932	
bh_PM	-2,289				0,932	
bh-T	-2,218				0,932	
bp-T	-2,413				0,932	
bs-T	-2,29				0,932	

Fuente: IDEAM - 2011

Los resultados de este estudio muestran que algunas de las ecuaciones estiman adecuadamente la biomasa aérea de los árboles en Colombia, lo que da lugar a determinar que si es posible desarrollar diferentes estudios para estimación de carbono mediante ecuaciones publicadas en la literatura científica, en razón a que éstas cuenta con las características de la información necesaria para realizar este tipo de estudios, arrojando resultados replicables, verificables y auditables, además, la biomasa total estimada cuenta con una incertidumbre relativamente baja, tal como lo recomienda el IPCC (2003, 2006).

Dada esta información, se determina que es posible que los valores reportados sirvan de insumo en futuras iniciativas REDD+ en Colombia, así mismo ayuda a ajustar los cálculos de las emisiones de GEI derivadas del cambio en el uso de la tierra y de las prácticas silviculturales y se puedan utilizar como valores de referencia en otros trabajos de estimación. [6]

Es importante señalar que para la validez de las ecuaciones a utilizar en un proyecto, es necesario tener en cuenta las dimensiones del arbolado incluido en la muestra y la zona geográfica, ya que si bien se expuso anteriormente existen diferentes modelos alométricos los cuales no todos se ajustan a las condiciones de los bosques, es por esto que se debe realizar un análisis de la zona de vida, su estratificación y por supuesto de el objetivo del proyecto a desarrollar. [5]

Cuando se trata de una alternativa adecuada para la estimación de la biomasa en áreas destinadas a la conservación, donde existen restricciones para la tumba de árboles y se requieren resultados con bajo margen de error, se puede emplear el método indirecto que incluyan reducciones en las incertidumbres de las cuantificaciones y que a la vez generen información útil para la aplicación en ecosistemas similares, tal como es el caso de las ecuaciones alométricas a nivel del ecosistema y especies.

El método indirecto para la estimación de biomasa consiste en generar ecuaciones y modelos calculados a partir de los datos generados en inventarios forestales o variables colectadas en terreno mediante las cuales es posible estimar la biomasa a partir del volumen del árbol, en función de su densidad y un factor de expansión para determinar el peso seco total, donde los modelos de regresión se utilizan para convertir los datos de inventario en una estimación de la biomasa aérea. [7]

Los métodos alométricos permiten predecir la producción de biomasa en forma amigable con el medio ambiente, Pero el uso de modelos alométricos para la estimación de la biomasa desarrollados en regiones diferentes a la andina presenta limitaciones, dadas las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles. [7]

En este método, una pauta clave para que los resultados sean lo más confiables es la toma de datos en campo, pues de ahí depende que la aplicación de la ecuación muestre resultados con baja incertidumbre, es por esto que se debe tener en cuenta cada uno de los pasos y parámetros establecidos para la recolección de datos en campo, debido que al no tener datos precisos la estimación de carbono sería deficiente, trayendo inconvenientes al momento de tomar decisiones durante el desarrollo de los proyectos encaminados a la conservación de bosques, además, es importante y necesario precisar el período de tiempo durante el cual se calcula la biomasa, ya que esta se expresa generalmente como un cambio neto en la biomasa, es decir que puede haber cambios significativos en la biomasa dentro del período de tiempo designado.

La composición y estructura son factores esenciales a tener en cuenta en el momento de plantear un estudio de cuantificación de biomasa, las características del método permite obtener la estructura general de cada bosque, las densidades por especie, precisión en la ubicación en pie de cada árbol usado para la generación de la ecuación alométrica y el cálculo de la biomasa a nivel de especie más representativas de cada bosque.

De acuerdo con lo anterior y la factibilidad que existe de realizar el caculo del contenido de carbono forestal por medio de los modelos alométricos disponibles y presentando una baja incertidumbre, se hace necesario realizar un seguimiento y monitoreo constante que permita identificar la capacidad de un bosque para



capturar carbono, pues con la aplicación de estos modelos solo se podría conocer la cantidad de carbono almacenado mas no cuanto puede un bosque almacenar. Con este seguimiento se puede lograr la implementación eficiente de proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y/o Degradación de los bosques-REDD+.

Para la ejecución de proyectos a gran escala, el método directo tiene una ventaja y es que permite conocer detalladamente el contenido de carbono, pero como desventaja tiene que éste es un método que requiere tumar árboles lo que conlleva a que sea un método destructivo, en mi opinión al realizar esta estimación por el método directo se pueden establecer estrategias que compensación y así poder realizar un estudio con resultados importantes y que a su vez contribuyan a la conservación de los bosques. Por el método indirecto permite realizar el análisis de manera más simple y con una baja incertidumbre, siendo esta una ventaja para proyectos regionales y nacionales, ya que por ser un análisis a gran escala este es el método que permite medir las variables necesarias para la aplicación en la ecuación alométrica, con bajo costo y un mínimo tiempo.

Por otro lado, de acuerdo con lo anteriormente señalado sobre la existencia de varios tipos de métodos alométricos para la estimación de la biomasa tanto aérea como subterránea, los métodos directos son los más utilizados, debido a que este arroja un resultado más preciso y confiable. Este método proporciona un valor exacto de la biomasa ya que el análisis se desarrolla mediante la cosecha de las especies arbóreas seleccionadas para luego calcular su peso seco o biomasa. [8]

Así mismo, este método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y las variables del rodal de fácil medición, como el diámetro a la altura del pecho, altura comercial, altura total y otras. “Considerando la dificultad de la medición de los flujos gaseosos que son parte de la dinámica de carbono entre la atmósfera y los ecosistemas forestales, se ha determinado el carbono que se almacena en forma sólida en los bosques. En este sentido, la cantidad de carbono total almacenado, se determina a través de la medición por componentes” [8]

Es importante tener en cuenta que los bosques primarios tiene la capacidad de acumular más carbono, pero a su vez, tienen un alto potencial de convertirse en fuentes de emisión de CO₂; debido a que el usos del suelo en las áreas con este tipo de bosque se ve altamente intervenido para dar paso principalmente a la ganadería y agricultura, el cual durante la transformación de estos bosques a no bosques se practica la quema y la tala, dando origen a degradación del recurso forestal, por tanto esto es una alerta para implementar proyectos inmediatos que permitan conocer el carbono acumulado para así poder establecer buenas prácticas de conservación y manejo del uso del suelo.

3. CONCLUSIONES

En la literatura, se pueden identificar diversos métodos que aporten a la estimación de captura de carbono acumulado en los bosques colombianos. Es necesario aclarar, que no solo existen métodos de ecuaciones alométricas para este tipo de estudios, también, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) plantea unas Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, donde, presenta métodos simples y valores por defecto, así como enfoques de esquemas para métodos de nivel superior para la estimación de carbono. En general, estas directrices conducen a los países a identificar las categorías de mayor impacto, en término de emisiones, de tal forma que se pueda enfocar la mayor inversión de tiempo y recursos y generar estimaciones con un método lo más detallado posible. Para ello, el IPCC establece que es una buena práctica que el país identifique las categorías clave y subcategorías significativas para estimar sus emisiones.

Aunque los métodos directos son los más comunes ya que tradicionalmente se han usado para la determinación de la biomasa de árboles, no se adecuan al medio ambiente natural pues llevan implícita la tala de muchos árboles y mayores requerimientos de tiempo y laboriosidad para su procedimiento, en este sentido los métodos alométricos y la aplicación de su ecuación permiten obtener estimaciones confiables del contenido de biomasa para el bosque natural de Colombia.

Conocer las toneladas de carbono que un bosque puede capturar, es indispensable para que los entes territoriales e instituciones puedan tomar decisiones en cuanto a las estrategias de conservación y acciones de mitigación que se deben desarrollar en el territorio nacional y que permitan alcanzar los nuevos desafíos globales que se plantean en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), así como para alcanzarlas metas de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero presentadas en el Acuerdo de París.

Una vez se conozca con certeza cuánto es el carbono almacenado en los bosques, se podrá estimar las emisiones de dióxido de carbono resultantes de procesos como la deforestación y degradación forestal del país, lo cual es un avance importante para poder controlar y mitigar la acumulación de estos gases en la atmósfera.

Actualmente la generación de modelos alométricos constituye hasta ahora, una herramienta básica y eficiente para estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono de los árboles, y por ende, en los bosques, dando cumplimiento a la entrega de informes ante la convención marco de las Naciones Unidas y a las directrices del IPCC.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, <http://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/reduccion-de-emisiones-de-gases>
- [2] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 26 p. 2011, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM.
- [3] Phillips J.F., Duque A.J., Yepes A.P., Cabrera K.R., García M.C., Navarrete D.A., Álvarez E., Cárdenas D. 2011. Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales -IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 68 pp.
- [4] IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2016. Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- [5] Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 162 p.
- [6] Álvarez, E., Saldarriaga, J.G., Duque, A.J., Cabrera, K.R., Yepes, A.P., Navarrete, D.A., Phillips, J.F. 2011 Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 26 p.
- [7] Álvarez, G. 2008. Modelos alométrico para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis de maestría Escuela de Posgrado. Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza (CATIE), Cochabamba, Bolivia
- [8] convenio no. 005 de 2013, suscrito entre fundación natura y la corporación ambiental empresarial crecimiento, biomasa acumulada y carbono capturado de 25 especies de árboles y arbustos nativos de la cordillera oriental colombiana.