

**PROYECTOS SECTORIALES DE
MITIGACIÓN DE GEI
SECTOR AFOLU**

**Directrices para la selección de
ecuaciones, parámetros y datos
para calcular las remociones de
GEI de actividades forestales**

PROCLIMA[®]

VERSIÓN 1.1 | 17 de septiembre de 2020

Autor:

ÁNGELA DUQUE V., Ingeniera Forestal, M.Sc.

Con la colaboración de:

MIGUEL A. RODRÍGUEZ M., Biólogo, M.Sc.

VÍCTOR M. NIETO R., Ingeniero Forestal, MBA.

RAÚL J. HERNÁNDEZ R., Ingeniero Forestal

FEDERACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DE LA MADERA - FEDEMADERAS.

Cítese como:

Duque, A. 2020. Directrices para la selección de ecuaciones, parámetros y datos para calcular las remociones de GEI de actividades forestales. Versión 1.1 (17 de septiembre de 2020). PROCLIMA. Bogotá, Colombia. 48 p.

© 2020 PROCLIMA. Todos los derechos reservados. Apartes de los textos pueden ser reproducidos, siempre que se cite claramente la fuente. Su reproducción total debe ser autorizada por PROCLIMA.

Tabla de contenido

1	Introducción.....	4
2	Objeto y campo de aplicación	5
3	Alcance.....	5
4	Cuantificación de las remociones de GEI	6
4.1	Acumulación de biomasa y carbono.....	6
4.2	Modelos de crecimiento y rendimiento.....	6
4.2.1	Variables dasométricas	7
4.2.2	Inventarios y modelos alométricos.....	8
4.3	Cálculo de la biomasa.....	9
4.3.1	Biomasa aérea.....	10
4.3.2	Biomasa subterránea.....	12
4.4	Contenido de carbono.....	13
5	Modelo de Crecimiento y captura de carbono - CREFT.....	14
6	Recomendaciones finales	16
7	Referencias	18

Listado de tablas

Tabla 1.	Densidad básica (D_j).....	11
Tabla 2.	Factor de expansión de biomasa (FEB_j).....	12
Tabla 3.	Relación Raíz: Biomasa aérea (R_j).....	13
Tabla 4.	Fracción de carbono (FC_j) para especies forestales en Colombia.....	14
Tabla 5.	CREFT - Factor de expansión de biomasa y relación biomasa aérea:biomasa subterránea.	15
Tabla 6.	Localidades en las cuales se realizaron mediciones - CREFT	15

Listado de anexos

Anexo 1.	Modelos alométricos para las principales especies plantadas en Colombia.....	22
Anexo 2.	CREFF - Distribución de biomasa (%) ocho especies forestales	45

Directrices para la selección de ecuaciones, parámetros y datos para calcular las remociones de GEI de actividades forestales

(Versión 1.1)

1 Introducción

En términos generales la productividad forestal está relacionada con la cantidad de madera, expresada en metros cúbicos, por unidad de superficie (hectárea) que se ha acumulado a lo largo del tiempo en un lugar determinado. Desde el punto de vista biológico, la productividad se puede definir como la cantidad de materia viva elaborada en un tiempo dado sobre una determinada superficie. Esta productividad biológica se entiende como total cuando a la producción de la población de los autótrofos o productividad primaria, se le adiciona la de los heterótrofos o productividad secundaria.

La productividad primaria es el resultado de la síntesis de moléculas orgánicas a partir del dióxido de carbono, a través de la absorción de energía radiante por la clorofila de los vegetales. Se denomina productividad primaria bruta al resultado de dicha síntesis o fotosíntesis bruta o asimilación total. Es a través de la respiración que las plantas obtienen la energía necesaria para construir sus nuevos tejidos que, representan el aumento de la biomasa. Esta última fracción se define como la productividad primaria neta o fotosíntesis aparente. Así entonces, la productividad bruta (PB) es equivalente a la suma de la productividad neta (PN) y la respiración (R).

En la práctica, la cuantificación de la fotosíntesis neta se lleva a cabo ya sea por la medida de la cantidad neta de CO₂ fijado, o por la cuantificación de la materia seca producida por los vegetales. Tanto la fotosíntesis como la respiración son procesos cuya eficiencia está en relación con condiciones ambientales tales como la concentración de CO₂ en el aire, la temperatura y la luz en el caso del primero de estos dos procesos (la fotosíntesis) a tiempo que para el segundo (la respiración) a la temperatura y la luz se aúna el estado de hidratación de la planta.

Así, la productividad primaria de las masas forestales está relacionada tanto con la edad como con aspectos genéticos, con la estacionalidad de los climas así como con factores edáficos y bióticos. Ya se trate de bosques naturales o de plantaciones forestales la productividad neta anual de los árboles sigue una curva logística. Esta llega a un valor máximo que se alcanza a edades variables según la especie. A lo largo de esta fase tanto el incremento de la biomasa de raíces y el follaje le asegura al árbol los requerimientos energéticos, nutritivos e hídricos. Terminada esta fase cesa el incremento de la biomasa, pero continúa el crecimiento de la biomasa leñosa lo que representa el aumento del consumo de energía a través de la respiración. Consecuentemente, tras ese máximo, disminuyen tanto la productividad neta real como la aparente.

Ahora bien, el cálculo y la estimación de la biomasa y el carbono acumulados (en el vuelo forestal) se efectúa con base en dos procedimientos, empleados para medir la productividad neta aparente. Estos son: el inventario forestal en parcelas de área fija (en las que se establece número de individuos, altura y diámetro de cada uno de ellos) y la estimación de la biomasa de la población de los árboles a partir de ecuaciones alométricas que relacionan el peso seco del fuste, las ramas, las raíces y el follaje con variables tales como el diámetro y/o la altura del fuste principal o algún indicativo del área foliar. Esta aproximación se basa en el hecho de que, en una región dada, la curva de regresión entre el DAP (diámetro a la altura del pecho), para la plantación forestal, o cualquier otra variable dasométrica y la biomasa de los troncos o los árboles enteros de diferentes especies, es la misma.

Tomando en consideración todo lo anterior, estas directrices detallan el conjunto de normas e instrucciones para el uso de los datos y parámetros relacionados con las estimaciones de carbono, que se basan en la biomasa acumulada en las especies forestales: volumen maderable, biomasa, factor de expansión de biomasa, fracción o contenido de carbono, relación entre la biomasa aérea y la biomasa subterránea.

2 Objeto y campo de aplicación

Los conceptos y definiciones técnicas, contenidos en estas directrices, deben usarse para asegurar que el uso de los datos y parámetros empleados para el cálculo de las remociones de GEI por sumideros resulta en estimaciones pertinentes, coherentes, exactos y transparentes. Asimismo, para demostrar que se usan supuestos, valores y procedimientos conservadores, para asegurarse de que no se sobreestiman las remociones de GEI por el proyecto¹.

En este sentido, este documento contiene, tanto los conceptos básicos para la estimación de la biomasa y carbono acumulados en proyectos que incluyen actividades forestales de remoción de GEI, como una compilación de las ecuaciones de crecimiento y rendimiento de las especies más empleadas en proyectos de reforestación en Colombia, como el conjunto de datos necesarios para el cálculo de las remociones de GEI por sumideros.

3 Alcance

Estas directrices se limitan a las siguientes categorías de proyectos sectoriales de mitigación de GEI, en el sector AFOLU:

- (a) actividades forestales de remoción de GEI

¹ Con base en el cumplimiento de los principios que rigen, a nivel de proyecto, la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero (ISO 14064-2:2006).

Estas directrices deben ser empleadas por los titulares de las iniciativas que contemplan actividades de remoción de GEI, clasificadas como proyectos sectoriales de mitigación de GEI en el sector AFOLU, para llevar a cabo las estimaciones de biomasa aérea, biomasa subterránea y contenido de carbono, que resultan en las remociones de GEI, atribuibles a las actividades de proyecto.

4 Cuantificación de las remociones de GEI

4.1 Acumulación de biomasa y carbono

El crecimiento de una planta puede definirse como el incremento en el tiempo de ciertos parámetros característicos, como tamaño o peso, siendo la variación periódica del peso seco la variable que mejor cuantifica (en la práctica) el crecimiento, característica a la que se aúna el hecho que el contenido energético de la materia orgánica de las plantas es casi prácticamente constante. Bajo esta consideración, las evaluaciones más precisas de la cantidad de materia orgánica que en un periodo de tiempo ha acumulado un individuo, fotosíntesis neta, está basada en la determinación del peso seco total (o contenido energético) y su partición, distribución de asimilados, en los diferentes órganos de la planta.

Es claro que diferencias genéticas son causa de la producción diferenciada entre árboles de la misma especie, diferencia que solo puede establecerse a partir de la comparación de poblaciones en la misma fase productiva y en idénticas condiciones de sitio. A éstas se le adicionan los factores climáticos entre los que cuentan la radiación fotosintéticamente activa, la temperatura y el balance hídrico. De los factores edáficos cuentan la fertilidad del suelo, la textura, la estructura el pH, el agua y la salinidad como elementos que en conjunto se pueden evaluar a partir de las curvas de Índice de sitio construidas con base en la edad y la altura de los individuos arbóreos. Finalmente son causa de diferencias en la productividad primaria de una plantación, las debidas a la acción de predadores y parásitos cuyos efectos sobre la productividad pueden ser difíciles de discriminar cuantitativamente.

4.2 Modelos de crecimiento y rendimiento

La construcción de información dasométrica relevante, y confiable, se basa en mediciones e inventarios para establecer el valor medio de la biomasa presente y por lo tanto del carbono, en las plantaciones forestales.

Estos inventarios consideran el bosque plantado como una unidad en la que se pueden diferenciar al menos cuatro estratos: el vuelo forestal, el sub-bosque, la biomasa depositada en el suelo y finalmente el suelo. La suma del carbono presente en un momento dado, en unidades modales de área, de estos cuatro estratos representa entonces el valor del carbono acumulado en una unidad modal del cultivo. Es importante aclarar que la discriminación y delimitación de los mencionados estratos atiende exclusivamente a los

diferentes métodos que se emplean para calcular y estimar la biomasa en cada uno de ellos y no a una particular interpretación de la biocenosis.

4.2.1 Variables dasométricas

Los principales valores requeridos para estimar la biomasa en una plantación forestal (en un momento específico del tiempo) son los siguientes:

(a) El diámetro y el diámetro medio (d/DAP, Dg)

El diámetro es la principal variable cuantitativa que se puede medir en forma directa en árboles en pie. El diámetro corresponde a la medición del diámetro a la altura del pecho (1,3 m). El diámetro medio corresponde al promedio aritmético de los valores del diámetro de los árboles que componen el rodal². El cálculo puede realizarse con los datos individuales o tabulados. El diámetro medio del rodal se calcula de manera directa con las mediciones realizadas en los árboles.

(b) Área basal (G)

El área basal se define como el valor resultante de la suma de las secciones transversales a la altura del pecho (1,3 m), por unidad de área. La sección para cada árbol se calcula normalmente a partir del diámetro, suponiendo una sección circular, y el área basal se expresa en metros cuadrados por hectárea.

(c) Número de árboles (N)

N es el número de árboles por hectárea.

(d) Diámetro medio cuadrático (Dg)

El diámetro medio cuadrático corresponde al diámetro del árbol de área basal media.

(e) Altura (h)

Altura de cada individuo en el rodal. Se expresa en m.

(f) Altura dominante (H)

La altura dominante corresponde a la altura dominante de los árboles más altos en el rodal. Se expresa en m.

(g) Volumen (m³/ha)

Cada árbol es cubicado mediante una función de volumen individual según su diámetro y altura. El volumen por hectárea se obtiene sumando el volumen estimado para cada árbol presente en dicha unidad de área.

² Grupo de individuos de la misma especie que ocupan un área definida y genéticamente aislada en cierta medida de otros grupos similares. En: <http://www.fao.org/faoterm/es/>

El volumen puede estimarse a través de árboles tipo, relaciones matemáticas o modelos biométricos. Estos últimos pueden ser ecuaciones locales (donde el volumen está en función de una sola variable, como el diámetro) o estándares (donde el volumen está en función de dos o más variables, usualmente el diámetro y la altura total).

4.2.2 Inventarios y modelos alométricos

De acuerdo con FAO³, los inventarios forestales se basan en un conjunto de actividades llevadas a cabo en el bosque plantado, que se definen como dasometría. La dasometría permite determinar las dimensiones, la forma, el peso, el crecimiento en volumen (a determinada edad de los árboles), ya sea de manera individual como colectiva, y la dimensión de sus productos.

Las estimaciones del volumen o la biomasa de árboles individuales se suman para obtener el volumen total de árboles inventariados. Algunas funciones del volumen con mediciones a nivel del rodal (por ejemplo, área basal) generan directamente estimaciones de la densidad del volumen.

La alometría del árbol consiste en la utilización de ecuaciones, modelos y funciones para describir la relación cuantitativa entre los diversos parámetros de los árboles. Junto con los datos del inventario forestal, las ecuaciones alométricas se pueden utilizar para calcular el volumen y la biomasa del árbol y, en último término, las existencias en formación, la biomasa y las existencias forestales de carbono en varias escalas. Los modelos alométricos pueden ser para una especie específica o para un grupo de especies y se pueden obtener genéricamente para diferentes tipos de bosques.

Aplicar adecuadamente esta alternativa requiere la generación de una ecuación estadísticamente válida de volumen del árbol individual aplicable en la estimación del volumen total en pie o en su lugar la adopción de una ecuación de volumen generada en diferente localidad a la del sitio que se quiere evaluar, cuya aplicabilidad debe cuantificarse apropiadamente. Este efecto de la variabilidad regional y local del comportamiento de las especies plantadas comercialmente se reconoció en Colombia ya hacia el año 1989, con la publicación en la que el INDERENA compiló las tablas de volumen para árboles en pie⁴.

En Colombia se cuenta con modelos alométricos y ecuaciones de rendimiento para las principales especies plantadas. Se han llevado a cabo estudios, durante los últimos años, en los que se han desarrollado modelos tanto para biomasa (verde y seca) como para acumulación de carbono de plantaciones.

³ Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS)

⁴ Ministerio de Agricultura – Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente – Inderena (1989). Compilación de tablas de volumen para árboles en pie. Subgerencia de bosques y aguas, División administración de bosques. Bogotá, mayo de 1989. 128 p.

En el Anexo 1 se encuentra una compilación de modelos desarrollados para las principales especies plantadas en el país.

4.3 Cálculo de la biomasa

De acuerdo con las Directrices del IPCC (2006) para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, las estimaciones de las remociones de GEI por las plantaciones forestales se basan en las ganancias de la biomasa en el tiempo. Las ganancias incluyen el total del crecimiento de la biomasa (aérea y subterránea).

A falta de modelos alométricos, de biomasa o de contenido de carbono, la determinación de la fotosíntesis neta de una plantación forestal y por tanto la estimación del carbono acumulado en ésta puede hacerse, con un mayor grado de incertidumbre, a partir de la conjugación de una ecuación de volumen y la densidad básica junto con factores de expansión que dentro de límites razonables estimen tanto la biomasa de ramas y del follaje, como la de las raíces.

Es reconocido que la evaluación de la biomasa, basada únicamente en el volumen, es de valor limitado porque a partir de la información sobre el volumen no hay una indicación adecuada sobre la cantidad real de la totalidad de sustancias existentes de la madera por unidad de volumen. Esto es especialmente cierto cuando la evaluación de la biomasa incluye a la corteza, las ramas, hojas y raíces. Estas partes del árbol a menudo tienen diferencias bastante marcadas en la gravedad específica en comparación con el tronco del árbol y el volumen de estas partes ser una porción considerable del árbol. La gravedad específica y el volumen porcentual de cada componente (madera del fuste, corteza, ramas, hojas y raíces) deben conocerse antes de que la biomasa pueda determinarse con precisión.

No obstante, de acuerdo con la herramienta “Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities” el cambio en los stocks de carbono en árboles, es estimado usando los siguientes pasos:

- (a) *Uso de ecuaciones apropiadas para estimar las reservas de carbono en árboles (en biomasa viva, sobre el suelo y bajo el suelo):* usando factores de expansión - Factor de Expansión de Biomasa (BEF), o ecuaciones alométricas de biomasa específicas que no requieren el empleo de factores de expansión;
- (b) *Uso de ecuaciones apropiadas para estimar las reservas de carbono en árboles:* usando tablas de volumen o ecuaciones que son usadas para convertir el volumen maderable (para el caso de las actividades forestales) del fuste a biomasa aérea, usando factores de expansión y la biomasa de raíces, usando el factor que relaciona la biomasa de raíces con la biomasa aérea total.

De este modo, la biomasa de árboles de la especie *j* puede ser estimada como:

$$B_{ARB,j,i,t} = V_{ARB,j,i,t} \times D_j \times FEB_j \times (1 + R_j)$$

Donde:

$B_{ARB,j,i,t}$	Biomasa de árboles de la especie j , en el estrato i en el año t ; t de materia seca (d.m.)
$V_{ARB,j,i,t}$	Volumen maderable de la especie j , en el estrato i en un punto del tiempo en el año t , estimado usando los datos resultantes de la ecuación, para las tablas de volumen anual; m ³
D_j	Densidad (con corteza) de la especie j ; t d,m; m ⁻³
FEB_j	Factor de expansión de biomasa para conversión de madera del fuste a biomasa aérea, para la especie j ; adimensional
R_j	Relación raíz-biomasa aérea para la especie j ; adimensional
j	1, 2, 3, ... especie

La biomasa $B_{ARB,j,p,i,t}$, puede ser estimada por especie/estrato usando el volumen anual por hectárea.

De acuerdo con el anexo 24, de la EB 67 (A/R Methodological Tool “Demonstrating appropriateness of volume equations for estimation of aboveground tree biomass in A/R CDM project activities”) “*la ecuación de volumen de una especie o grupo de especies, derivada de árboles en condiciones edafoclimáticas similares a las condiciones del proyecto son consideradas apropiadas, y, por lo tanto, pueden ser usadas para estimaciones ex post del volumen maderable*”. Para todos los casos, los datos usados deben cumplir tal condición.

El titular de la iniciativa de mitigación de GEI, deberá incluir las fuentes de las ecuaciones que emplee. Así por ejemplo: ecuaciones de volumen o de biomasa publicadas que sean razonablemente aplicables a las especies/sitio, o ecuaciones desarrolladas por el proponente sobre las que pueda demostrar su origen y aplicabilidad.

4.3.1 Biomasa aérea

La superficie asimilatoria para producir materia orgánica requiere de una estructura de soporte, de absorción y conducción de nutrientes, raíces y tallos, de modo que la producción neta de materia orgánica depende de la proporción de los órganos productores (hojas) y de los órganos no propiamente productores (raíces, fuste, ramas). La proporción relativa de raíces, fustes y hojas varía según las especies como también, entre los individuos de una misma especie, de uno a otro, dependiendo de las condiciones de crecimiento.

En consecuencia, en la determinación de la biomasa a partir de las ecuaciones de volumen en pie es conveniente considerar varios factores que afectan la precisa determinación, el primero de ellos es la pertinencia y exactitud de la ecuación de volumen. Dado que, habitualmente, el crecimiento de la biomasa se considera en términos de volumen maderable, generalmente se cuenta con modelos de rendimiento en términos de volumen. Entonces, la biomasa aérea se estima mediante la siguiente ecuación:

$$B_{ARB,j,i,t} = V_{ARB,j,i,t} \times D_j \times FEB_j$$

El factor de expansión de biomasa (FEB_j)⁵ convierte el peso seco del volumen en biomasa total aérea incorporando los demás componentes del árbol (ramas y hojas).

Antes de aplicar el FEB, el volumen maderable debe convertirse a peso seco (ton) multiplicando por la densidad básica de la madera (D_j) en t/m^3 . La densidad de la madera está definida por la relación entre el peso seco y el volumen verde (g/cm^3 o kg/m^3). La razonabilidad de los valores empleados para convertir el volumen a peso seco con base en la densidad básica debe considerar que esta característica tiene como fuentes de variación a la edad del árbol junto con las proporciones de duramen, albura y corteza a lo largo y ancho del fuste, la frecuencia y abundancia de la madera de reacción y la debida a la selección genética.

Este método brinda los mejores resultados cuando los FEB se han determinado realmente sobre la base de pesos en seco y cuando se conocen bien cuáles son las densidades básicas de la madera aplicables localmente.

En la Tabla 1 se encuentran los valores de la densidad básica (D_j) y en la Tabla 2 el factor de expansión de biomasa (FEB_j) de algunas de las principales especies plantadas en Colombia. Vale la pena aclarar que esta recopilación contiene algunos de los datos y parámetros existentes. Que un dato no se encuentre en esta recopilación, no significa que el titular de la iniciativa no deba usar valores locales (preferiblemente) o regionales para las estimaciones de remociones de GEI del proyecto.

Tabla 1. Densidad básica (D_j)

Especie	Densidad básica (D_j) (g/cm^3)	Fuente
<i>Acacia mangium</i> Willd	0,490	Monterrey Forestal Ltda. (2004)
<i>Alnus acuminata</i> H.B.K. ssp. <i>acuminata</i>	0,306	Lastra, J.A. (1986)
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	0,410	Lastra, J.A. (1986)
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	0,495	Arango, B., et al. (2001)
<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell	0,530	Giraldo, D., et al. (2014)

⁵ Los FEB no tienen dimensión, dado que convierte entre unidades de peso

Especie	Densidad básica (D _j) (g/cm ³)	Fuente
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm	0,438	Monterrey Forestal Ltda. (2004)
<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	0,490	Jurado & Pérez, 2007
<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) W.S. Alverson	0,640	Pizano (2004)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (Sénécl.) W.H.G.	0,480	Pino, A. et al. (2007)
<i>Pinus patula</i> Schlttdl. & Cham	0,430	Lastra, J.A. (1986)
<i>Pinus tecunumanii</i> Eguiluz & J.P. Perry	0,420	Herrera, J., et al. (2004)
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC	0,487	Lastra, J.A. (1986)
<i>Tectona grandis</i> L. f.	0,640	Monterrey Forestal Ltda. (2004)

Fuente: Duque, A. (2020)

Tabla 2. Factor de expansión de biomasa (FEB_j)

Especie	Factor de expansión de Biomasa (FEB _j)	Fuente
<i>Acacia mangium</i> Willd	1,403	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	1,365	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnhardt	1,165	Díaz, S., Molano, M. (2001)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	1,357	Díaz, S., Molano, M. (2001)
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	1,254	MADR (2010)
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm	1,235	Obando, D. (2004)
<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	1,255	Nieves et. al. (2005)
<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) W.S. Alverson	1,327	Obando, D. (2004)
<i>Pinus</i> spp.	1,405	MADR (2010)
<i>Pinus patula</i> Schlttdl. & Cham	1,274	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)
<i>Tectona grandis</i> L. f.	1,205	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)

Fuente: Duque, A. (2020)

4.3.2 Biomasa subterránea

La biomasa subterránea se estima mediante una relación entre biomasa subterránea/biomasa aérea. Para las estimaciones de la biomasa total, incluyendo la biomasa subterránea, deben emplearse las relaciones biomasa subterránea/biomasa aérea específicas del país para estimar la biomasa subterránea. Sin embargo, según las Directrices del IPCC (2006), preferentemente, la biomasa subterránea debe incorporarse directamente a los modelos para calcular el incremento y las pérdidas totales de biomasa. Como alternativa, se pueden utilizar relaciones biomasa subterránea/biomasa aérea o modelos de regresión determinados a nivel regional o nacional.

La Tabla 3 contiene la relación subterránea/biomasa aérea para 10 de las principales especies forestales plantadas en Colombia.

Tabla 3. Relación Raíz: Biomasa aérea (R_j)

Especie	Relación Raíz: Biomasa aérea (R_j)	Fuente
<i>Acacia mangium</i> Willd	0,153	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	0,147	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnhardt	0,278	Díaz, S., Molano, M. (2001)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0,190	Díaz, S., Molano, M. (2001)
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	0,159	MADR (2010)
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm	0,201	Obando, D. (2004)
<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	0,225	Nieves et. al, 2005
<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) W.S. Alverson	0,329	Obando, D. (2004)
<i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham	0,204	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)
<i>Tectona grandis</i> L. f.	0,238	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008)

Fuente: Duque, A. (2020)

De otro modo, para las especies para las que no se disponga de R_j , el titular de la iniciativa de mitigación de GEI puede emplear la siguiente fórmula para calcular R_j ⁶:

$$R_j = \frac{e^{(-1.085+0.9256*lnb)}}{b}$$

R_j Relación raíz-biomasa aérea para la especie j ; adimensional

b Biomasa aérea por hectárea (en t d.m. ha⁻¹),

j 1, 2, 3, ... especie

Si no se usa uno de los valores en la tabla o la ecuación, para estimar R_j , el titular de la iniciativa debe presentar información transparente y verificable para justificar un valor diferente.

4.4 Contenido de carbono

Una vez obtenida la biomasa seca total, debe calcularse el contenido de carbono presente en la biomasa acumulada.

El proceso de determinación de la fracción o contenido de carbono presente en la biomasa acumulada, en una plantación forestal, pasa finalmente por su determinación a través del

⁶ A/R Methodological Tool. “Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities”

análisis químico. Tal como lo demuestra la literatura publicada, si bien este valor se mueve en un reducido rango, es igualmente un valor más a establecer a partir de muestras compuestas que representen adecuadamente la participación en el árbol de los diferentes reservorios de carbono. Los valores de contenido de carbono⁷, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Fracción de carbono (FC_j) para especies forestales en Colombia

Especie	Fracción de Carbono (FC_j)	Fuente
<i>Acacia mangium</i> Willd	0,546	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. 2008.
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	0,549	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. 2008.
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnhardt	0,477	Díaz, S., Molano, M. (2001)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0,455	Díaz, S., Molano, M. (2001)
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	0,464	MADR (2010)
<i>Eucalyptus urophylla</i> ST Blake	0,464	MADR (2010)
<i>Eucalyptus urograndis</i>	0,464	MADR (2010)
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm	0,426	Obando, D. 2004
<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	0,438	Nieves et. al, 2005
<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) W.S. Alverson	0,399	Obando, D. 2004
<i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham	0,550	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. 2008.
<i>Tectona grandis</i> L. f.	0,543	Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. 2008.

Fuente: Duque, A. (2020)

5 Modelo de Crecimiento y captura de carbono - CREFT

El Modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico – CREFT calcula la biomasa y la composición mineral (incluido el carbono) en cada uno de los compartimentos u órganos de la planta, mediante la simulación de procesos físicos y fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración, la partición de los asimilados y el crecimiento foliar entre otros, a partir de información climática y de localización de la plantación.

El CREFT, fue desarrollado con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a través de los convenios especiales para la investigación 269-2002 y 325-2004 con la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, en el marco de los proyectos “Red nacional de parcelas permanentes de crecimiento y rendimiento evaluación de la captura de carbono de ocho especies forestales” e “Investigación y transferencia de

⁷ Recopiladas para este documento

tecnologías a la cadena forestal productiva en el marco de la Política de manejo social del campo y la Política de estímulo a la reforestación comercial en Colombia”.

La investigación dio como resultado la información sobre la arquitectura, la interceptación de la radiación, la actividad fotosintética en hojas individuales y plantas completas bajo condiciones de campo, y la acumulación y distribución de biomasa aérea y subsuperficial de las especies forestales, en diversas condiciones de oferta ambiental en Colombia. Adicionalmente, se determinó la composición mineral de los diferentes tejidos de las especies.

El principal resultado está constituido por modelos de crecimiento, distribución de la materia seca y valoración del carbono fijado en cada órgano tanto de la parte aérea como subsuperficial, para cada una de las especies incluidas en el estudio⁸.

En consecuencia, los resultados del CREFT, muestran datos sobre la distribución de biomasa para las especies estudiadas (*Alnus acuminata*, *Pochota quinata*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus pellita*, *Pinus caribaea* y *Gmelina arborea*). A continuación se presenta un resumen de los principales datos y parámetros. En el Anexo 2 de este documento se encuentran las tablas con la información contenida en el informe de la Federación Nacional de Cafeteros (2004).

Tabla 5. CREFT - Factor de expansión de biomasa y relación biomasa aérea:biomasa subterránea

Especie	Biomasa aérea (%)	Biomasa subterránea (%)	FEB	Rj
<i>Alnus acuminata</i>	84,274	15,728	1,237	1,157
<i>Eucalyptus grandis</i>	86,021	13,977	1,227	1,140
<i>Eucalyptus pellita</i>	79,978	20,020	1,189	1,200
<i>Gmelina arborea</i>	79,441	20,557	1,202	1,206
<i>Pinus caribaea</i>	80,672	19,327	1,236	1,193
<i>Pochota quinata</i>	75,854	24,144	1,252	1,241
<i>Tabebuia rosea</i>	79,441	20,559	1,312	1,206
<i>Cordia alliodora</i>	ND.	ND.	1,189	ND.
FEB; Factor de expansión de biomasa Rj; Relación Raíz : Biomasa aérea ND; No disponible				

Fuente: Duque, A. (2020) con base en las Tablas 11, 15, 19, 23, 27, 31 y 35 del documento FNC (2004)

Considerando que los datos necesarios para las estimaciones de las remociones están directamente relacionados con las áreas o regiones en las cuales se desarrollan las plantaciones forestales comerciales, se presentan (en la Tabla 6) las localidades en las cuales se realizaron las mediciones.

Tabla 6. Localidades en las cuales se realizaron mediciones - CREFT

⁸ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - FNC. (2004)

Especie	Reforestador	Municipio	Departamento
<i>Alnus acuminata</i>	Fosforera Colombiana Maderas y Celulosas Fundación Ecológica Cafetera Agroindustrias La Florida	Manizales	Caldas
<i>Pochota quinata</i>	Monterrey Forestal	Zambrano	Bolívar
<i>Eucalyptus grandis</i>	Andina - Cartón de Colombia	Pereira Santa Rosa de Cabal Salento	Risaralda Quindío
<i>Eucalyptus pellita</i>	Refocosta	Villanueva	Casanare
<i>Tabebuia rosea</i>	Varios	Montería Planeta Rica Chimá Momil	Córdoba
<i>Gmelina arborea</i>	Monterrey Forestal	Zambrano	Bolívar
<i>Cordia alliodora</i>	Sigifredo Hoyos Néstor Buitrago	Anserma Nuevo Risaralda	Valle del Cauca Caldas
<i>Pinus caribaea</i>	Refocosta	Villanueva	Casanare

Fuente: FNC (2004)

6 Recomendaciones finales

Si bien es cierto que las Guías de buenas prácticas (1996, 2003, 2006 y 2019) y otros documentos del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) brindan datos que pueden ser usados por defecto, es necesario considerar lo relacionado con aplicabilidad y exactitud tanto de las ecuaciones como de los valores por defecto. En primer lugar, es importante tener en cuenta que, por ejemplo, las Directrices del IPCC (2006) aportan información, en su mayoría, para el cálculo de las emisiones y remociones en áreas cubiertas con bosques naturales.

Más aún, en las guías de IPCC se menciona constantemente que deben usarse datos de país (local, regional, nacional) y que el uso de algunas de las fórmulas y relaciones, tales como por ejemplo BCEF⁹, debe hacerse con precaución “*porque los factores de densidad básica de la madera y expansión de la biomasa tienden a estar correlacionados. Si se usó la misma muestra de árboles para determinar D, BEF o BCEF, la conversión no va a provocar error alguno. Si, por el contrario, no se conoce con certeza la densidad básica de la madera, transformar uno a otro podría provocar errores, ya que el BCEF lleva implícita una densidad básica de la madera específica pero desconocida. Lo ideal es que todos los factores de conversión y expansión se deriven o que su aplicabilidad se verifique localmente*”.

Implícitamente se considera que las metodologías empleadas en la cuantificación de las remociones de GEI por proyectos en el sector AFOLU conllevan diferentes grados de incertidumbre, originada ésta por la calidad y aplicabilidad ya sea de las ecuaciones

⁹ Factores de conversión y expansión

alométricas para la estimación de la biomasa, o de las ecuaciones de volumen que juntamente con valores de densidad básica y factores de expansión se emplean para estimar la biomasa de árboles individuales. Igualmente se acepta que dada la naturaleza de los proyectos forestales y sus métodos de estimación de la biomasa es deseable que los valores empleados no generen sobrestimaciones y si subestimaciones.

Ahora bien, como se ha presentado a lo largo de este documento, en Colombia se encuentra información relacionada con datos y parámetros para las principales especies forestales plantadas.

Bajo estas consideraciones no se entendería la razonabilidad de emplear, sin mayores consideraciones, los factores de expansión o de densidad que son factores por defecto del IPCC, cuando son requeridas la mayor precisión y exactitud posibles para atender un mercado de exigentes compradores.

7 Referencias

- Arango, B., Hoyos, J., Vásquez, A. (2001). Variación de la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis* en árboles de siete años de edad. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 54 (1-2):1275-1284.
- Barrera, C. (1964). Tablas volumétricas de *Cupressus lusitanica* Mill., para la región de Piedras Blancas. Tesis de grado, Universidad Nacional Facultad de Agronomía Forestal. Medellín.
- Barrios, A. López A. M. Nieto V. (2014). Predicción de volúmenes comerciales de *Eucalyptus grandis* a través de modelos de volumen total y de razón. Colombia Forestal, 17(2), 137 -149.
- Córdoba, Alberto. (1984). Predicting growth and yield for Patula pine plantations: a case study from Colombia. State University of New York; College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, United States. 180 p.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF. (sin fecha). Investigación en semillas forestales y mejoramiento genético como respaldo al Certificado de Incentivo Forestal - CIF. Anexo 2. Crecimiento y rendimiento de plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* en la Orinoquia colombiana. Informe de actividades. Convenio MADR-CONIF-FINAGRO. Bogotá, 23 p.
- Del Valle Arango, Jorge Ignacio. (1975). Crecimiento y rendimiento de *Cupressus lusitanica* Mill. en Antioquia, Colombia, utilizando parcelas permanentes. Turrialba, Costa Rica. CATIE; Departamento de Ciencias Forestales. 119 p. Tesis (M.Sc. Programa UCR-CATIE). Universidad Costa Rica.
- Del Valle, A.J., y González P. H. (1998). Rendimiento y crecimiento del Cerezo (*Alnus jorullensis*) en la región central colombiana. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 41 (1):51-61.
- Díaz, S. y Molano, M. (2001). Cuantificación y valoración económica de la captura de CO₂ por plantaciones del género *Eucalyptus* establecidas por el PRECA en las cuencas carboníferas del Cesa, Valle del Cauca-Cauca y altiplano cundiboyacense. Colombia Forestal – Vol. 7 No. 14 - Diciembre de 2001.
- Escobar M., Milagros León. (1979). El crecimiento y el rendimiento del guácimo nogal (*Cordia alliodora*) Ruiz & Pavon, asociado con el café en el suroeste de Antioquia, Colombia. Medellín, Colombia. 167 p. Tesis (Ing. For.) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2004). Programa de Investigación Científica. Centro Nacional de Investigaciones del Café – CENICAFÉ. Informe Final Proyecto. Determinación de la capacidad de captura de carbono en ocho especies forestales. “CONVENIO ESPECIAL PARA LA INVESTIGACIÓN N° CEN 269 - 2002 entre la

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal – CONIF y La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ. Manizales, Abril 2004. 91 p.

Federación Nacional de Cafeteros - FNC, Cenicafé (2005). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Aliso o Cerezo (*Alnus acuminata* H.B.K. spp. *Acuminata*). Serie cartillas divulgativas. 37 p.

Federación Nacional de Cafeteros - FNC, Cenicafé (2006). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). Serie cartillas divulgativas. 53 p.

Federación Nacional de Cafeteros - FNC, Cenicafé (2006). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El nogal cafetero (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken). Serie cartillas divulgativas. Segunda edición. 49 p.

Federación Nacional de Cafeteros - FNC, Cenicafé (2008). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El guayacán rosado o roble (*Tabebuia rosea* (Bertol) DC.). Serie cartillas divulgativas. 59 p.

Federación Nacional de Cafeteros - FNC, Cenicafé (2011). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Pino patula (*Pinus patula* Schiede and Deppe in Schlecht. & Cham). Serie cartillas divulgativas. 105 p.

Giraldo, D., Nieto, V., Sarmiento, M., Borrallho, N. (2014). Estimación indirecta de la densidad de la madera mediante el uso de pilodyn en la selección de clones de *Eucalyptus pellita* F. Muell. Revista Colombia Forestal Vo. 17(2) 181-192.- Julio - Diciembre, 2014.

Herrera, J., Morales, W., Pérez, J. (2004). Selección de un método para producir carbón activado utilizando cuatro especies forestales. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín. Vol.57, No. 2. p.2501-2516. 2004.

Jurado, A., Pérez, N. (2007). Cuantificación de carbono almacenado en la biomasa aérea en Caucho *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. en el municipio de Mocoa, departamento de Putumayo. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agroforestal. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, 88 p.

Ladrach, William E. (1977) Tablas de volumen y peso verde de *Cupressus lusitanica* Mill, para cuatro niveles de utilización. Serie Técnica No. 7. CONIF.

Ladrach, William E. (1978). Tablas de volumen, peso verde y peso seco para *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus grandis*. Informe de Investigación Forestal No. 30. Cartón de Colombia S.A.

Lastra, J.A. (1986). Compilación de las propiedades físico-mecánicas y usos posibles de 178 maderas de Colombia. Libro técnico No. 1. Asociación Colombiana de Ingenieros Forestales-ACIF. Bogotá, 75 p.

Lopera, G., Gutiérrez, V. (2000). Viabilidad técnica y económica de la utilización de plantaciones de *Pinus patula* como sumideros de CO₂. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Cipreses de Colombia e Industrias Forestales Doña María, Empresa Públicas de Medellín.

López AM, Barrios A, Trincado G, Nieto V. E (2011). Monitoreo y modelamiento de crecimiento como herramienta para el manejo de plantaciones forestales comerciales. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal-CONIF®-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. Bogotá D.C., Colombia. 90 p.

López, A., Barrios, A., Ortega, A., Nieto, V., Gasca, G., Salamanca, M. (2007). Empleo de un modelo de crecimiento y rendimiento para la determinación de la edad óptima de rotación de *Pinus caribaea* var. hondurensis creciendo en la región oriental de Colombia. En: Revista Colombia Forestal Vol. 10 No. 20 - Diciembre 2007. 119-126.

López, A.M. (2013). Crecimiento y rendimiento de plantaciones de *Acacia mangium*, *Eucalyptus pellita* y *Pinus caribaea* en la Orinoquia colombiana. Informe final de consultoría. CONIF, 44 p.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. (2010). Capacidad fijadora de CO₂ de ocho especies forestales tropicales (*Alnus acuminata*, *Eucalyptus pellita*, *Pinus caribaea*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis*, *Gmelina arborea*, *Tabebuia rosea*, *Pinus patula*).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR (2011). Ajuste, validación y ampliación del modelo de crecimiento y captura de carbono para especies del trópico Creft. Programa Herramienta para la planeación y toma de decisiones orientada a la productividad y oferta de servicios ambientales en plantaciones forestales en Colombia. Cadena forestal y su industria. Contrato 028 2007k5702- 359-07.

Monterrey Forestal Ltda. (2004). Estudio de crecimiento de *Gmelina arborea* y *Pachira quinata* en los departamentos de Bolívar, Magdalena y Cesar.

Nieves, H., Buitrago, C. (2005). Evaluación de los niveles de remoción de CO₂ efectuada por plantaciones de Caucho *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. en Colombia. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero forestal bajo la modalidad de asistentes de investigación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá, 151 p.

- Obando, D. (2004). Interceptación de la radiación, acumulación y distribución de biomasa y contenido de carbono en *Gmelina arborea* Roxb y *Pochota quinata* (Jacq) Dugand. Universidad del Tolima. Facultad de ingeniería forestal. Trabajo de tesis presentado como requisito para optar al título de ingeniero forestal. Facultad de ingeniería forestal. Ibagué.
- Pino Rodríguez, Andrea Tatiana, & Vásquez Aguilera, Yesenia, & Polanco Tapia, César (2007). Influencia del contenido de humedad de equilibrio en sorción y desorción sobre la dureza de cuatro especies maderables plantadas en Colombia. *Colombia Forestal*, 10(20),226-238
- Rodríguez, J.A., Ramírez, M.V. (2008). Modelación de carbono aéreo y subterráneo de *Tectona grandis* y *Pinus patula* en plantaciones comerciales del Neotrópico. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, 43 p.
- Tabares, J. (2002). Estudio de crecimiento de *Tectona grandis* en la costa Caribe colombiana. Cormagdalena. 65 p.
- Torres, Danny & del Valle, Jorge. (2007). Growth and yield modelling of *Acacia mangium* in Colombia. *New Forests*. 34. 293-305. 10.1007/s11056-007-9056-5.
- Vélez E., Fernando. (1995). Ecuaciones de rendimiento en plantaciones de *Eucalyptus saligna*, deducidas del estudio desarrollado por Vélez, G. (1982). Medellín, Colombia.
- Vélez E., Fernando. (1997). Ecuaciones de rendimiento en plantaciones de *Pinus patula*, deducidas del estudio desarrollado por Córdoba, A. (1984). Medellín, Colombia. 30 p.
- Vélez M., Gerardo. (1982). Índice de sitio, su estimación edáfica y rendimiento del *Eucalyptus saligna* en Antioquia, Colombia. Medellín, Colombia. 142 p. Tesis (Ing. For) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Vélez, E., Fernando. (1994). Ecuaciones de rendimiento en plantaciones de nogal cafetero (*Cordia alliodora*), deducidas del estudio desarrollado por Escobar, M, L. (1979). Medellín, Colombia. 30 p.
- Vélez, F. (1994). Manejo silvicultural de plantaciones de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) con base en la densidad del bosque. Medellín, 48 p.
- Vélez, F., Ortiz, R. (1999). Estimador de crecimiento forestal (Primera versión). Proyecto OIMT PD39/95 REV I (F). Fortalecimiento institucional para el ordenamiento sostenible de plantaciones forestales. Santafé de Bogotá, 70 p.

Anexo 1. Modelos alométricos para las principales especies plantadas en Colombia

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
--------	-----------	--------------	--------	--------------

Acacia mangium Willd.

$W = 1,343581 * G_g^{1,572201}$	W: biomasa por hectárea Gg: Inverso del cuadrado del área basal	R2 = 0,9527	MEI = 0,805	Torres, D., Del Valle, J. (2007)	Departamento de Córdoba
$w = 0,0034388 * d^{2,93}$	w: biomasa por árbol (ton/ha) d: dap (cm)	R2 = 0,9973	MEI = 0,999		
$G = \beta_1 * \left[\frac{1 - \exp(-0,175t)}{1 - \exp^{-2,36t_0}} \right]$	G: área basal (m2/ha) β1: índice de sitio (6,67; 13,67; 20,67) t: año de referencia t0: año cero	nd.			
$V = 2,75929 * G^{1,487068}$	V: volumen (m3/ha)	R2 = 0,9653	MEI = 0,830		
$v_{cc} = 0,00003771 * D^2 * H$	vcc: volumen con corteza (árboles individuales)	R2 = 0,993	S _{y.x} = 0,003363	Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF. (sin fecha)	Orinoquia
$v_{sc} = 0,00003135 * D^2 * H$	vsc: volumen sin corteza (árboles individuales)	R2 = 0,997	S _{y.x} = 0,001907		
$IS = \frac{H_d}{\left[\frac{1 - \exp^{-0,529276 * E}}{1 - \exp^{-0,529276 * E_c}} \right]^{1,406814}}$	IS: índice de sitio Hd: altura dominante E: edad Ec: edad clave	R2 = 0,7068	nd.		

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$\ln(D_g) = 1,70249 - 1,34278 * \left(\frac{1}{E}\right) + 0,06348 * IS$	Dg: diámetro E: edad IS: índice de sitio	R2 = 0,9566	Sy.x = 0,008889		
$\ln G = -5,78839 - 2,68675 * \left(\frac{1}{E}\right) + 0,12706 * IS + 0,96255 * LN(N)$	G: área basal (m2/ha) IS: índice de sitio (7; 10; 13,16; 19) E: Edad (año) N: Número de árboles por hectárea (1100)	R2 = 0,9573	Sy.x = 0,180		
$\ln(V) = 0,050224 + 1,44774 * \ln(G)$	V: volumen (m3/ha) G: área basal (m2/ha)	R2 = 0,9930	Sy.x = 0,1058		
$H = 1,3 + 1,067073 * \left[\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_d}\right) + \left(\frac{1}{H_d - 1,3}\right)^{1/3} \right]^{-3}$	H: altura D: diámetro Dd: diámetro dominante Hd: altura dominante	R2 = 0,8851	Sy.x = 0,0146		
$V = 0,002108 + 0,000028 * D^2 * H$	V: volumen D: diámetro a la altura del pecho H: altura	nd.		López, A.M. (2013)	Orinoquia

Alnus acuminata* H.B.K. ssp. *acuminata

$\ln G = 3,455344 - 12,627642/t + 0,296313(S/t)$	G: área basal (m2/ha) t: edad (años) S: índice de sitio (20,68/15 años)	R2 = 0,912	Sxy = 0,1874	Del Valle, A.J., y González P. H. (1998)	Zona Andina
$\ln V_{cc} = 2,392708 - 1,451706/t + 0,00537(S) + 0,990445 * (\ln G)$	Vcc: volumen con corteza (m3/ha) t: edad (años) S: índice de sitio (20,68/15 años)	R2 = 0,989	Sxy = 0,0662		

Modelo	Variables	Estadísticos		Fuente	Localización
$\ln V_{cc} = 4,88325 - \frac{7,352416}{t} + 0,04414(S) + 0,000055 * (N)$	G: área basal (m ² /ha) N: Número de árboles por hectárea	R ² = 0,907	S _{xy} = 0,2067		
$h = 1,6016 + 0,9034 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	nd.		FNC, Cenicafé (2005)	Huila, Risaralda, Tolima y Caldas
$v_{cc} = -9,712 + 1,992 * \ln(d) + 0,869 * \ln(h)$	Vcc: volumen con corteza (m ³ /ha) d: diámetro h: altura	nd.			
$v_{sc} = -9,779 + 1,981 * \ln(d) + 0,894 * \ln(h)$	Vsc: volumen sin corteza (m ³ /ha) d: diámetro h: altura	nd.			
$V_{cc} = \frac{\pi}{4} * ((d^2 * h) * 0,546)$	Vcc: volumen con corteza (m ³ /ha) d: diámetro h: altura 0,546: factor forma de la especie	nd.			
$pf_{tallo} = 9,0774 + 596,7(v_{cc})$	pftallo: peso fresco del tallo vcc: volumen con corteza	nd.			

Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken

$h_{dom} = 40,2250 * e^{-17,1088/t}$	hdom: altura dominante (m) t: edad (años)	nd.		Vélez, E., F. (1994)	Zona andina
$d_g = 4,61259 * e^{0,0286778(t)+0,0403172(S)-0,00102332(N)}$	dg: diámetro del árbol promedio (cm) N: número de árboles por hectárea S: índice de sitio (28,57/13)	nd.			

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
	años) t: edad (años)			
$V_{cc} = 0,000384517 * t^{1,97954} * e^{0,0739433*S} * N^{0,668311}$	V _{cc} : volumen con corteza (m ³ /ha) t: edad (años) S: índice de sitio (28,57/13 años) N: número de árboles por hectárea (625)	nd.		
$h = 0,7664 + 0,5397 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	nd.	FNC, Cenicafé (2010)	Santander, Caldas, Risaralda, Cesar, Tolima, Antioquia
$h = 0,556 + 0,659 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	R ² = 0,82	FNC, Cenicafé (2010)	Floridablanca (Santander)
$h = 0,8036 + 0,4955 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	R ² = 0,77		Chinchiná (Caldas)
$h = 1,1816 + 0,4336 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	R ² = 0,75		Belén de Umbría (Risaralda)
$h = 0,664 + 0,567 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	R ² = 0,78		Pueblo Bello (Cesar)
$h = 1,076 + 0,489 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	R ² = 0,76		Líbano (Tolima)

Modelo	Variables	Estadísticos	Fuente	Localización
$h = 0,4829 + 0,61 * d$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	R2 = 0,83		Fredonia (Antioquia)
$pf_{tallos} = 18,548 + 760,7(v_{cc})$	pftallo: peso fresco del tallo vcc: volumen total con corteza	nd.		Santander, Caldas, Risaralda, Cesar, Tolima, Antioquia
$v_{cc} = 0,0169 + 0,3596 * (d^2 * h)$	vcc: volumen con corteza (m3/ha) d: diámetro a la altura del pecho (cm) h: altura (m)	R2 = 0,9689		
$Ln(v_{sc}) = \ln(0,0621) + (1,5624 * \ln(d) + (1,4084 * \ln(h)))$	vsc: volumen sin corteza (m3/ha) d: diámetro a la altura del pecho (cm) h: altura (m)	R2 = 0,9872		
$V_{cc} = \frac{\pi}{4} * ((d^2 * h) * 0,6064)$	Vcc: volumen con corteza (m3/ha) d: diámetro h: altura 0,6064: factor forma de la especie	nd.		

***Cupressus lusitanica* Mill.**

$h_{dom} = 3,70096 * t^{0,571684}$	hdom: altura dominante (m) t: edad (años)	R2 = 0,625	nd.	Vélez, F., Ortiz, R. (1999) con base en Vélez, F. (1995)	Caldas y Antioquia
$S = exp^{\ln(hd)+b*\ln(tr/t)}$	S: índice de sitio (23,31/25 años) hd: altura dominante tr: edad de referencia en años	nd.			

Modelo	Variables	Estadísticos	Fuente	Localización
$d_g = 3,17006 * t^{0,421376} * S^{0,915925} * N^{-0,318724}$	dg: diámetro del árbol promedio (cm) N: número de árboles por hectárea S: índice de sitio t: edad (años)	nd.	Vélez, F., Ortiz, R. (1999) con base en Vélez, F. (1995)	Zona andina
$G = 0,00792885 * t^{0,831562} * S^{1,82621} * exp^{0,00025014(N)}$	G: área basal (m2/ha) t: edad (años) S: índice de sitio N: número de árboles por hectárea	nd.		
$ln V_{cc} = 1,32814 - \frac{0,43758}{t} + 0,02638(S) + 1,02495 * (lnG)$	Vcc: volumen con corteza (m3/ha) t: edad (años) S: índice de sitio N: número de árboles por hectárea	nd.		
$V_{sc} = 0,3D^2H - 0,01492$	Vsc: volumen total sin corteza en m3 D: D.A.P. en metros (<15 cm) H: altura total en metros	R2 = 0,90	Ladrach, William E. (1977)	Antioquia
$V_{sc} = 4,6D^2H + 0,01278H - 0,189$	Vsc: volumen total sin corteza en m3 D: D.A.P. en metros (<15 cm) H: altura total en metros	Coefficiente de correlación (r) = 0,98		
$V = 0,03652D + 0,0069H + 0,00513F - 1,14497$	Vsc: volumen total sin corteza en m3 D: D.A.P. en cm H: altura comercial en metros hasta un diámetro mínimo sin corteza de 20 cm F: clase de forma	Coefficiente de correlación (r) = 0,96		

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
$FFB = 0,68612 - 0,489963D.A.P. - 0,0517H_c$	FFB: factor forma balanceado obtenido por regresión múltiple en función del D.A.P. y la altura V: volumen D.A.P.: diámetro a la altura del pecho	nd.	Barrera, C. (1964)	Piedras Blancas (Antioquia)
$V = 0,785 * D.A.P^2 * H_c * FFB$	V: volumen D.A.P.: diámetro a la altura del pecho Hc: altura en metros FFB: factor forma balanceado obtenido por regresión múltiple en función del D.A.P. y la altura	nd.		

***Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt**

$V_{c.c} = 0,0368162 + 0,31(D^2) * h$	Vcc: volumen con corteza D: diámetro a la altura del pecho h: altura	nd.	Díaz, S., Molano, M. (2001)	Cesar
$V_{s.c} = 0,0251234 + 0,244(D^2) * h$	Vcc: volumen con corteza D: diámetro a la altura del pecho h: altura	nd.		
$Ps_f = 0,000195804 + 0,517 * V$	psi: peso seco del fuste descortezado V: volumen del fuste	nd.		
$Pv_f = -0,432598 + 2,10662 * Ps_f$	puf: peso verde del fuste descortezado psf: peso seco del fuste descortezado	nd.		
$Pv_h = 0,0990794 + 0,176769 * Pv_f$	pvh: peso verde de hojas pvf: peso verde del fuste	nd.		

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
$Pv_r = 1,13864 + 0,0987453 * Pv_f$	pvr: peso verde de ramas pvf: peso verde del fuste	nd.		
$Pv_c = 0,970695 + 0,217087 * Pv_f$	pvc: peso verde de corteza pvf: peso verde del fuste	nd.		
$Pv_{rz} = 1,1647 + 0,418934 * Pv_f$	prz: peso verde de raíz pvf: peso verde del fuste	nd.		
$PC_f = -1,28428 + 0,281041 * Pv_f$	pcf: peso del carbono del fuste pvf: peso verde del fuste	nd.		
$PC_h = 0,0668883 + 0,191343 * Pv_h$	pch: peso del carbono de hojas pvh: peso verde de hojas	nd.		
$PC_r = -0,0384851 + 0,247472 * Pv_r$	pcr: peso del carbono de ramas pvr: peso verde de ramas	nd.		
$PC_c = 0,252997 + 0,133685 * Pv_c$	pcc: peso del carbono de corteza pvc: peso verde de corteza	nd.		
$PC_{rz} = 0,0115297 + 0,245146 * Pv_{rz}$	pcrz: peso del carbono de raíz pvrz: peso verde de raíz	nd.		
$V = 0,0368162 + 0,31D^2H$	V: volumen con corteza en m ³ D: D.A.P. en metros H: altura total del fuste en metros	Coefficiente de correlación (r) = 0,99	Ladrach, W.E. (1978)	Cauca y Valle

***Eucalyptus globulus* Labill.**

$V_{c.c} = AB * H * F.F$	Vc.c: volumen con corteza AB: área basal H: altura	nd.	Díaz, S., Molano, M. (2001)	Altiplano cundiboyacense
--------------------------	--	-----	-----------------------------	--------------------------

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
$Ps_f = -0,0156685 + 0,52666 * V$	psf: peso seco del fuste descortezado V: volumen del fuste	nd.		
$Pv_f = -0,117158 + 2,13194 * Ps_f$	pvf: peso verde del fuste descortezado psf: peso seco del fuste descortezado	nd.		
$Pv_h = 1,34679 + 0,294073 * Pv_f$	pvh: peso verde de hojas pvf: peso verde del fuste	nd.		
$Pv_r = 0,227714 + 0,316891 * Pv_f$	pvr: peso verde de ramas pvf: peso verde del fuste	nd.		
$Pv_c = 0,603887 + 0,239947 * Pv_f$	pvc: peso verde de corteza pvf: peso verde del fuste	nd.		
$Pv_{rz} = 0,20935 + 0,3409 * Pv_f$	prz: peso verde de raíz pvf: peso verde del fuste	nd.		
$PC_f = -0,170681 + 0,257773 * Pv_f$	pcf: peso del carbono del fuste pvf: peso verde del fuste	nd.		
$PC_h = -0,125104 + 0,206064 * Pv_h$	pch: peso del carbono de hojas pvh: peso verde de hojas	nd.		
$PC_r = -0,0726558 + 0,247655 * Pv_r$	pcr: peso del carbono de ramas pvr: peso verde de ramas	nd.		
$PC_c = -0,0373319 + 0,210443 * Pv_c$	pcc: peso del carbono de corteza pvc: peso verde de corteza	nd.		
$PC_{rz} = -0,0542365 + 0,232499 * Pv_{rz}$	pcrz: peso del carbono de raíz pvrz: peso verde de raíz	nd.		

***Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
$h = 1,4959(d) - 0,0119(d^2)$	h: altura (m) d: diámetro (cm)	nd.	FNC, Cenicafé (2006), con base en resultados del Proyecto "Cuantificación del efecto de sumidero de Carbono por especies forestales nativas e introducidas".	Valle del Cauca, Cauca, Risaralda y Quindío
$vcc = 0,0185 + 0,32084(d^2 * h)$	vcc: volumen total con corteza (m3) d: diámetro a la altura del pecho (cm) h: altura (m)	nd.	FNC, Cenicafé (2006), Uribe y Marín (1996)	
$vcsc = 0,006 + 0,23019(d^2 * h)$	vcsc: volumen total sin corteza (m3) d: diámetro a la altura del pecho (cm) h: altura (m)	nd.		
$pvcsc = 20,13 + 199,60(d^2 * h)$	pvcsc: peso verde comercial sin corteza (m3) d: diámetro a la altura del pecho (cm) h: altura (m)	nd.		
$ln(v_{cc}) = -9,828 + 1,888 * ln(d + 1) + 0,939 * ln(h)$	vcc: volumen total con corteza (m3) d: diámetro a la altura del pecho (cm) h: altura (m)	nd.	FNC, Cenicafé (2006), con base en resultados del Proyecto	

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$\ln(v_{sc}) = -8,988 + 0,847 * \ln(d^2 h)$	vsc: volumen total sin corteza (m3) d: diámetro a la altura del pecho (cm) h: altura (m)	nd.		"Cuantificación del efecto de sumidero de Carbono por especies forestales nativas e introducidas".	
$pvcc = 29,698 + 908,6139 * vcc$	pvcc: peso verde total del tallo (kg/árbol) vcc: volumen con corteza (m3/árbol)	nd.			
$pftallo = 14646,47 * (1 - e^{-(0,0193*d)})^{3,1840}$	pftallo: peso fresco del tallo d: diámetro normal a 1,3 m de altura	nd.			
$Vsc = -0,0047 + 0,8947 * vcc$	Vsc: volumen sin corteza vcc: volumen con corteza	nd.			
$V_{cc} = \frac{\pi}{4} * ((d^2 * h) * 0,4578)$	Vcc: volumen con corteza (m3/ha) d: diámetro h: altura 0,4578: factor forma de la especie	nd.		FNC, Cenicafe (2006)	
$V = 0,000024 + d^{1,825337} * h^{1,215568} + \varepsilon$	V: volumen total sin corteza d: diámetro a la altura del pecho h: altura ε : error aleatorio del modelo	R2 = 0,994	Sy, x = 0,024	Barrios, A. López A. M. Nieto V. (2014)	Quindío
$\ln(v) = -11,0267 + 1,8543 * \ln(d) + 1,2996 * \ln(h)$	v: volumen total/árbol individual d: diámetro a la altura del pecho h: altura	R2 = 0,99	Sy, x = 0,03	López, AM. et Al (2011)	Región andina
$V_{c.c} = 0,0368162 + 0,31(D^2) * h$	Vcc: volumen con corteza D: diámetro a la altura del	nd.			Valle del Cauca - Cauca

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
	pecho h: altura		Díaz, S., Molano, M. (2001)	
$V_{s.c} = 0,0251234 + 0,244(D^2) * h$	Vcc: volumen con corteza D: diámetro a la altura del pecho h: altura	nd.		
$P_{s_f} = -0,00887302 + 0,530355 * V$	psf: peso seco del fuste descortezado V: volumen del fuste	nd.		
$P_{v_f} = 0,287143 + 0,09834 * P_{s_f}$	pvf: peso verde del fuste descortezado psf: peso seco del fuste descortezado	nd.		
$P_{v_h} = 0,0303846 + 0,137963 * P_{v_f}$	pvh: peso verde de hojas pvf: peso verde del fuste	nd.		
$P_{v_r} = -0,732943 + 0,35869 * P_{v_f}$	pvr: peso verde de ramas pvf: peso verde del fuste	nd.		
$P_{v_c} = 0,481954 + 0,249308 * P_{v_f}$	pvc: peso verde de corteza pvf: peso verde del fuste	nd.		
$P_{v_{rz}} = 1,4312 + 0,489685 * P_{v_f}$	prz: peso verde de raíz pvf: peso verde del fuste	nd.		
$P_{C_f} = 0,0603971 + 0,225484 * P_{v_f}$	pcf: peso del carbono del fuste pvf: peso verde del fuste	nd.		
$P_{C_h} = 0,0327114 + 0,179283 * P_{v_h}$	pch: peso del carbono de hojas pvh: peso verde de hojas	nd.		

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
$PC_r = 0,0115588 + 0,227807 * Pv_r$	pcr: peso del carbono de ramas pvr: peso verde de ramas	nd.		
$PC_c = -0,009215 + 0,160852 * Pv_c$	pcc: peso del carbono de corteza pvc: peso verde de corteza	nd.		
$PC_{rz} = 0,0795783 + 0,191768 * Pv_{rz}$	pcrz: peso del carbono de raíz pvrz: peso verde de raíz	nd.		
$V = 0,0368162 + 0,31D^2H$	V: volumen con corteza en m ³ D: D.A.P. en metros H: altura total del fuste en metros	Coefficiente de correlación (r) = 0,99	Ladrach, W.E. (1978)	Cauca y Valle

***Eucalyptus pellita* F. Muell**

$V = 0,000033 * D^{0,953268} * H^{2,043848}$	V: volumen D: diámetro a la altura del pecho H: altura	nd.	López, A.M. (2013)	Orinoquia
--	--	-----	--------------------	-----------

***Eucalyptus saligna* sm.**

$d_g = 2,67673 * t^{-0,58168} * S^{0,00830} * N^{-0,50183}$	dg: diámetro del árbol promedio (cm) N: número de árboles por hectárea S: índice de sitio (24,32/10 años) t: edad (años)	nd.	Vélez, F., Ortiz, R. (1999) con base en Vélez, F. (1982)	Zona andina
---	---	-----	--	-------------

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
$\log G = 1,85585 - 5,00617/t - 0,00933(S) + 0,14684(S/t) + 0,00003(N)$	G: área basal (m ² /ha) t: edad (años) S: índice de sitio (24,32/10 años) N: número de árboles por hectárea	nd.		
$\log V_{cc} = 2,24204 - 4,58825/t - 0,00977(S) + 0,13664(S/t) + 0,00006(N)$	V _{cc} : volumen con corteza t: edad (años) S: índice de sitio (24,32/10 años) N: número de árboles por hectárea	nd.		
$\log V_{cc} = 1,35029 - 0,61662/t + 0,03112(S) + 1,05649 * \ln(N)$	N: número de árboles por hectárea	nd.		

Eucalyptus tereticornis Sm.

$v = 0,01704 + 0,0000364 * d^2(h) - 0,0001989 * d^2$	v: volumen total/árbol individual d: diámetro a la altura del pecho h: altura	R ² = 0,98	S _{yx} = 0,02	López, AM. et al. (2011)	Costa Atlántica
$v = 0,01083 - 0,014824(C) + 0,82434(C^2)$	v: volumen C= circunferencia media (Dπ)	R ² = 0,955		Tabares, J. (2002)	Costa Atlántica

Gmelina arborea Roxb. ex Sm

$DAP = 36,9422 / (1 + \exp^{-(x-7,2247)/5,7827})$	DAP: diámetro a la altura del pecho (cm) x: edad	R ² = 0,8382		Obando, D. (2004), MADR (2011)	Bolívar y Magdalena
---	---	-------------------------	--	--------------------------------	---------------------

Modelo	Variables	Estadísticos	Fuente	Localización
$h = \frac{21,1059}{(1 + \exp^{-(x-3,2495)/3,691})}$	h: altura x: edad	R2 = 0,7977		
$ps = \frac{677,0076}{(1 + \exp^{-(x-12,9444)/3,5649})}$	pf: peso seco total x: edad	R2 = 0,8217		
$v = \frac{1,1082}{(1 + \exp^{-(x-13,5182)/4,0191})}$	v: volumen x: edad	R2 = 0,7914		
$T = \frac{425,0377}{(1 + \exp^{-(x-12,2808)/3,2043})}$	T: peso seco tallo x: edad	R2 = 0,8221		
$R = \frac{2293,1362}{(1 + \exp^{-(x-36,5004)/5,915})}$	R: peso seco ramas x: edad	R2 = 0,7039		
$r = \frac{95,8993}{(1 + \exp^{-(x-11,7133)/3,7715})}$	r: peso seco raíz x: edad	R2 = 0,6996		
$v_{cc} = 0,00006543646 * Dg^{1,791673} * h^{0,996855}$	vcc: volumen con corteza (m3) Dg: diámetro (cm) h: altura (m)	nd.	Monterrey Forestal Ltda. (2004)	Bolívar, Magdalena y Cesar
$LnVSC = -9,63 + 1,785LnD + 0,8189Lnh$	VSC: volumen sin corteza (m3/ha) D: diámetro (cm) h: altura (m)	nd.	Tabares, J. (2002)	Córdoba

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$v = 0,0228 + 0,000015 * d^{2,1639} * h^{1,0327}$	v: volumen total / árbol individual d: diámetro h: altura	R2 = 0,98	Syx = 0,02	López, AM. et al. (2011)	Costa Atlántica

***Hevea brasiliensis* Muell. Arg.**

$Log(BA) = 2,5956 * Log(CAP)^{-2,3858}$	BA: Biomasa seca aérea (Kg/árbol) BA: Biomasa aérea (kg) CAP: Circunferencia (cm)	R2 = 0,9792	Nieves, H., Buitrago, C. (2005)	Caquetá, Tolima, Santander, Guaviare y Meta
$Log(BS) = 2,3569 * Log(CAP)^{-2,6624}$	BA: Biomasa seca aérea (Kg/árbol) BA: Biomasa aérea (kg) CAP: Circunferencia (cm)	R2 = 0,9415		

***Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson**

$DAP = -41,587 + 101,676 * \ln(abs(x))$	DAP: diámetro a la altura del pecho (cm) x: edad	R2 = 0,6456	Obando, D. (2004), MADR (2011)	Bolívar y Magdalena
$h = 38,179 + 33,549 * \ln(abs(x))$	h: altura x: edad	R2 = 0,2864		
$ps = -2,552.580 + 1,548.422 * \ln(abs(x))$	pf: peso seco total x: edad	R2 = 0,98		
$v = -0,2587 + 0,1892 * \ln(abs(x))$	v: volumen madera x: edad	R2 = 0,93		
$v = -0,218967 + 0,0206983(x)$	v: volumen madera x: diámetro a la altura del pecho	R2 = 0,93		

Directrices para la selección de ecuaciones, parámetros y datos para calcular las remociones de GEI de actividades forestales

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$v_{cc} = 0,0001 * Dg^{1,8235} * h^{0,8051}$	vcc: volumen con corteza (m3) Dg: diámetro (cm) h: altura (m)	nd.		Monterrey Forestal Ltda. (2004)	Bolívar, Magdalena y Cesar
$LnV = -8,0758 + 1,2678LnD + 0,9729LnH$	V: volumen total (m3/ha) D: diámetro (cm) H: altura (m)	nd.		Tabares, J. (2002)	Córdoba
$v = \frac{d^2}{\left(1040,66 + \frac{22380,07}{h}\right)}$	v: volumen total / árbol individual d: diámetro h: altura	R2 = 0,91	Syx = 0,01	López, AM. et al. (2011)	Costa Atlántica

***Pinus caribaea var. hondurensis* (Sénécl.) W.H.G.**

$S = 22,99 \left[\left(1 - \left(\frac{H}{22,99} \right)^{0,97} \right)^{\left(\frac{E_c - 1,39}{E - 1,39} \right)} \right]^{1,026}$	S: índice de sitio H: altura dominante Ec: edad clave E: edad actual	nd.		López, A., et al. (2007)	Orinoquia
$\ln(AB_2) = \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \ln(AB_1) + 3,0094 \left(1 - \frac{E_1}{E_2} \right) + 0,0713S \left(1 - \frac{E_1}{E_2} \right)$	AB2: área basal final de proyección AB1: área basal inicial de proyección E1: edad inicial de proyección E2: edad final de proyección S: índice de sitio	R2 = 0,98	EMC (%) = 7,00		

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$\ln(v) = 1,6670 + 0,071(S) - 5,2188 \left(\frac{1}{E}\right) + 0,8976 \ln(AB)$	v: volumen actual (m3/ha) S: índice de sitio E: edad actual	R2 = 0,99	EMC (%) = 3,58		
$V = 0,002658 + 0,000024 * D^2 * H$	V: volumen D: diámetro a la altura del pecho H: altura	nd.		López, A.M. (2013)	Orinoquia

***Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl**

$\ln(v) = -9,3930 + 1,7903 * \ln(d) + 0,8553 * \ln(h)$	v: volumen total / árbol individual d: diámetro h: altura	R2 = 0,83	Syx = 0,09	López, AM. et al. (2011)	Región andina
--	---	-----------	------------	--------------------------	---------------

***Pinus patula* Schltdl. & Cham**

$\log h_d = 1,41109 - 2,08553/t$	hd: altura dominante t: edad (años)	nd.		Vélez, F., Ortiz, R. (1999) con base en Córdoba, A. (1984)	Zona andina
$d_g = 0,12633 + 0,009734/t - 0,000021(N)$	dg: diámetro del árbol promedio (cm) t: edad (años) N: número de árboles por hectárea	nd.			
$\ln G = 4,214229 - 5,868331/t$	G: área basal (m2/ha) t: edad (años)	nd.			

Modelo	Variables	Estadísticos	Fuente	Localización
$\ln V_{cc} = -0,399142 + \frac{0,877196}{t} + 0,013771(S) + 1,082240 * (\ln G)$	Vcc: volumen con corteza t: edad (años) S: índice de sitio (18,71/15 años) G: área basal (m2/ha)	nd.		
$\ln V_{cc} = 0,471544 - \frac{3,274403}{t} + 0,018164(S) + 1,179716 * (\ln G)$	Vcc: volumen con corteza t: edad (años) S: índice de sitio (18,71/15 años) G: área basal (m2/ha)	nd.		
$h = 0,005(d^2) + 0,4433(d) + 1,3577$	h: altura (m) d: diámetro a la altura del pecho (a 1,3 m)	nd.		
$pftr = 13,9 + 1325 * vcc$	pftr: peso fresco (tallo + ramas) en kg vcc: volumen con corteza	nd.		
$pft = 12,83 + 897,9 * vcc$	pft: peso fresco (tallo) en kg vcc: volumen con corteza	nd.		
$pftallo = \frac{2456,3}{1 + e^{\frac{(d-36,4248)}{7,2531}}}$	pftallo: peso fresco (tallo) en kg d: diámetro normal en cm	nd.		
$vcc = -0,0065301 + 0,0000355 * (d^2 * h)$	vcc: volumen total con corteza d: diámetro normal h: altura	nd.	FNC, Cenicafé (2011)	Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Quindío, Caldas, Santander, Tolima, Caldas y Antioquia Antioquia, Cauca y Cundinamarca

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$\ln(v_{cc}) = -2,23306 + 1,6257(\ln(d)) + 1,2248(\ln(h))$	vcc: volumen con corteza d: diámetro (m) h: altura (m)	R2 = 0,988	CME = 0,0039		Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Quindío, Caldas, Santander, Tolima, Caldas y Antioquia
$\ln(v_{sc}) = -2,680921 + 1,5987(\ln(d)) + 1,3253(\ln(h))$	vsc: volumen sin corteza h: altura (m) d: diámetro a la altura del pecho (a 1,3 m)	R2 = 0,9836	CME = 0,00347		
$v_{sc} = -0,005 + 0,9128 * v_{cc}$	vsc: volumen sin corteza vcc: volumen con corteza	nd.			
$V_{cc} = \frac{\pi}{4} * ((d^2 * h) * 0,524)$	vcc: volumen con corteza d: diámetro a la altura del pecho (m) h: altura (m) 0,524: factor forma de la especie	nd.			
$VCC_i = 0,00760383 + 0,0000402925 * (d^2 H)$	VCC: volumen con corteza d: diámetro (cm) H: altura (m)	R2 = 94,66	SCOE = 0,1870	Lopera, G., Gutiérrez, V. (2000)	Antioquia
$VCC_i = 0,0000229007 * (d^2 H)^{1,06186}$		R2 = 97,07	SCOE = 0,2451		
$VCC_i = 0,474555 + 0,00929733 * (d * H^{0,5})$		R2 = 94,75	SCOE = 0,1838		
$VSC_i = 0,00215529 + 0,0000361763 * (d^2 H)$	VSC: volumen sin corteza d: diámetro (cm) H: altura (m)	R2 = 93,43	SCOE = 0,1880		
$VSC_i = 0,0000165305 * (d^2 H)^{1,08354}$		R2 = 94,55	SCOE = 0,2541		

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$VSC_i = 0,432638 + 0,0083674 * (d * H^{0,5})$		R2 = 93,96	SCOE = 0,1727		
$BT_i = 890,027 * (VCC_i)^{1,1224}$	BTi: biomasa VCC: volumen con corteza	R2 = 98,10	F = 2018,7		
$CT_i = 457,244 * (VCC_i)^{1,12997}$	CTi: carbono VCC: volumen con corteza	R2 = 98,13	F = 2041,5		

***Tabebuia rosea* (Bertol) DC**

$h = 0,0232(d^2) + 0,2594(d) + 1,4244$	h: altura (m) d: diámetro a la altura del pecho (a 1,3 m)	nd.		FNC, Cenicafé (2008)	Cesar, Santander, Antioquia, Chinchiná, Tolima, San Antero y Montería y Sucre
$vcc = e^{(-9,836+2,301*Ln(d+1)+0,526*Ln(h))}$	vcc: volumen con corteza h: altura total (m) d: diámetro a la altura del pecho (a 1,3 m) e: base del logaritmo natural (2,71828183)	nd.			
$vsc = e^{(-8,957+2,303*Ln(d)+0,048*Ln(h))}$	vsc: volumen sin corteza h: altura total (m) d: diámetro a la altura del pecho (a 1,3 m) e: base del logaritmo natural (2,71828183)	nd.			
$pf_{cc} = 3,6299 + 849,94 * v_{cc}$	pfcc: peso fresco del tallo, con corteza (kg/árbol) vcc: volumen con corteza (m3)	nd.			
$pscc = 407,02 * vcc - 1,68$	pscc: peso seco con corteza (kg/árbol) vcc: volumen con corteza (m3)	nd.			

Modelo	VARIABLES	Estadísticos	Fuente	Localización
$v_{sc} = 0,7928 * v_{cc} - 0,0018$	vcc: volumen sin corteza vcc: volumen con corteza	nd.		
$\ln v_{cc} = -9,836 + 2,301(\ln(d + 1)) + 0,526(\ln(h))$	vcc: volumen con corteza h: altura (m) d: diámetro a la altura del pecho (a 1,3 m)	nd.		
$\ln v_{sc} = -8,957 + 2,303(\ln(d)) + 0,048(\ln(h))$	vsc: volumen sin corteza h: altura (m) d: diámetro a la altura del pecho (a 1,3 m)	nd.		
$v = 0,01195 + 0,0001407D^{2,3414} + 0,00009D^2 + 0,0059094D^{0,3414}$	v: volumen D: diámetro	nd.	Tabares, J. (2002)	Urabá (Antioquia)

***Tectona grandis* L. f.**

$\log h_d = 1,38568 - 1,28190/t$	hd: altura dominante t: edad (años)	nd.	Vélez, F., Ortiz, R. (1999) con base en Henao, I. (1980)	n.d.
$\log d = -0,23840 - 1,45664/t$	d: diámetro del árbol promedio (cm) t: edad (años)	nd.		
$\ln G = 1,55139 - 2,48178/t$	G: área basal (m ² /ha) t: edad (años)	nd.		
$\ln V = 1,09048 + 0,312302/t + 0,813855 (\log G)$	Vcc: volumen con corteza t: edad (años) G: área basal (m ² /ha)	nd.		

Modelo	VARIABLES	Estadísticos		Fuente	Localización
$v = \frac{\pi}{4} D^2 * H * 0,48 * N$	D: diámetro medio (m) H: altura media (m) 0,48: factor de corrección N: densidad actual o deseada de acuerdo con la edad (arb/ha)	nd.		Tabares, J. (2002)	Córdoba
$\ln v = -9,8413 + 1,7434 * \ln(d) + 1,0263 * \ln(h)$	v: volumen total / árbol individual d: diámetro h: altura	R ² = 0,95	Syx = 0,01	López, AM. et al. (2011)	Costa Atlántica

Fuente: Duque, A. (2020)

Anexo 2. CREFF - Distribución de biomasa (%) ocho especies forestales

<i>Alnus acuminata</i>	Edad (años)							
	1	3	4	8	9	10	11	15
Tallo	25,43	49,41	63,05	72,92	69,31	60,83	71,33	72,12
Ramas	19,07	17,82	13,59	12,89	13,3	20,67	12,76	10,52
Raíz	18,09	19,1	15,83	11,4	15,76	16,12	13,48	16,04
Hojas	37,41	13,66	7,53	2,8	1,54	2,15	2,43	1,24
Frutos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,23	0,00	0,08

<i>Eucalyptus grandis</i>	Edad (años)									
	0,67	2,75	3,08	4,33	5,17	5,75	7,25	8,33	14,33	24,33
Tallo	22,95	57,61	51,44	62,07	63,86	75,49	76,4	76,87	76,47	70,31
Ramas	25,95	17,44	23,16	18,35	18,57	9,46	8,57	6,42	9,61	15,76
Raíz	18,95	16,7	11,6	14,22	12,69	12,11	13,33	15,1	12,64	12,43
Hojas	32,15	8,25	13,79	5,36	2,28	2,8	1,66	1,6	0,93	1,21
Frutos	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,14	0,04	0,01	0,34	0,29

<i>Eucalyptus pellita</i>	Edad (años)							
	0,66	2,53	3	4,48	4,76	6,46	7,66	9,56
Tallo	34,09	53,96	60,18	71,49	68,79	75,28	55,75	69,23
Ramas	21,81	13,3	7,82	6,28	9,7	3,35	5,39	3,69
Raíz	19,21	15,43	18,43	17,51	13,83	17,9	33,63	24,22
Hojas	24,88	17,13	10,82	3,47	4,92	3,44	5,22	2,83
Frutos	0	0,17	2,75	1,24	2,76	0,04	0	0,04

<i>Gmelina arborea</i>	Edad (años)								
	1,54	3,57	4,91	5,92	6,28	8,41	9,57	13,45	19,25
Tallo	45,24	64,12	61,06	60,09	55,5	57,92	62,58	64,79	62,15
Ramas	20,88	11,22	15,13	15,27	17,53	18,63	18,71	19,02	21,99
Raíz	27,97	21,47	20,22	23,05	26,14	21,32	15,82	13,97	15,05
Hojas	5,91	3,19	3,59	1,59	0,83	2,13	2,89	2,22	0,79

<i>Pinus caribaea</i>	Edad (años)									
	1,3	3,3	4,6	7,2	9,5	12,4	13,4	16,4	17,3	20,2
Tallo	35,45	37,36	64,23	44,14	64,88	67,99	65,32	74,7	60,38	55,91
Ramas	7,94	19,53	11,62	18,3	8,78	11,83	10,2	5,61	13,87	9,99
Raíz	20,29	20,96	11,06	28,09	18,28	15,53	17,4	15,3	20,08	26,28
Hojas	36,31	22,16	13,05	9,08	8,02	4,59	5,72	4,03	5,46	5,13
Frutos	0	0	0,04	0,39	0,04	0,06	1,35	0,36	0,21	2,69

<i>Pochota quinata</i>	Edad (años)								
	6,42	7,43	9,49	11,48	12,53	15,61	17,29	18,38	
Tallo	42,39	47,51	59,34	53,55	62,15	49,41	51,2	39,31	
Ramas	22,04	20,52	22,73	22,28	14,04	23,65	22,49	39,44	
Raíz	30,75	30,98	16,24	21,66	23,53	25,87	23,79	20,33	
Hojas	4,81	0,99	1,69	2,51	0,27	1,07	2,52	0,92	

<i>Tabebuia rosea</i>	Edad (años)							
	2	4	5	6	9	10	11	13
Tallo	32,24	30,29	47,69	64,55	54,39	44,4	51,77	60,25
Ramas	37,55	35,65	21,33	14,39	21,04	31,08	9,11	29,85

Directrices para la selección de ecuaciones, parámetros y datos para calcular las remociones de GEI de actividades forestales

<i>Tabebuia rosea</i>	Edad (años)							
	2	4	5	6	9	10	11	13
Raíz	22,23	25,54	27,66	17,67	19,33	17,64	26,92	7,48
Hojas	7,98	8,52	3,32	3,4	5,25	6,87	12,2	2,41

<i>Cordia alliodora</i>	Edad (años)						
	2	4	5	6	7	9	10
Tallo	80,33	81,78	78,72	77,57	82,17	85,65	81,83
Ramas	7,28	11,24	10,24	12,99	11,13	7,09	10,76
Hojas	12,4	6,98	11,04	9,44	6,7	7,26	7,4

Versión	Fecha	Tipo de documento	Naturaleza del documento
1.0	6 de abril de 2020	Referencia normativa	Directriz para proyectos sectoriales de mitigación de GEI en el sector AFOLU
1.1	17 de septiembre de 2020	Referencia normativa	Directriz para proyectos sectoriales de mitigación de GEI en el sector AFOLU

