



VALORES DE REFERENCIA DEL CARBONO ALMACENADO EN COBERTURAS DE LA TIERRA Y SU VALORACIÓN ECONÓMICA

Subdirección de Instrumentos Permisos y Trámites
Ambientales - SIPTA

Elaborado por **Diego Castro Amado**
Jorge E. Gualdrón Duarte
Martha del Pilar Moreno

Actualizado por:
Jorge E. Gualdrón Duarte

Profesional grupo de valoración
económica ambiental SIPTA

Revisó: **Guillermo Villamil Mora**
Líder Grupo de valoración económica SIPTA
Lorena Pérez Gutiérrez
Revisora jurídica SIPTA
Saralux Valbuena López
Coordinadora Grupo de Instrumentos SIPTA

Aprobó: **Luis Enrique Orduz**
Subdirector Instrumentos Permisos y
Trámites Ambientales ANLA

Fecha: **Marzo de 2023**

SIGLAS

AFOLU	Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra (siglas en ingles)
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
BA	Bioamasa aérea
C	Carbono
CH₄	Metano
CLC	Coberturas Corine Land Cover
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GEI	Gases Efecto Invernadero
IC	Impuesto al carbono
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (siglas en ingles)
MCOS	Mapa de Stock Carbono Orgánico de Suelo
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (siglas en ingles)
NIR	Reporte Nacional de Inventario
N₂O	Óxido nitroso
POA	Proyectos, obras o actividades
SELA	Subdirección de Evaluación y Licencias Ambientales
SSLA	Subdirección de Seguimiento de Licencias Ambientales
VEA	Valoración económica ambiental

Tabla de contenido

Tabla de contenido	3
Introducción.....	4
Objetivo.....	5
Alcance.....	5
Sección 1: Conceptos Metodológicos de Cambio Climático y Cuantificación de Carbono.....	5
Sección 2: Cifras del Cambio Climático en Colombia.....	8
Sección 3: Datos y fuentes de Información de carbono	10
3.1 Factores usados para el cálculo de almacenamiento de carbono en diferentes coberturas	10
3.1.1 Carbono en Biomasa Aérea y Subterránea	11
3.1.2 Carbono Orgánico Suelo	12
3.1.3 Carbono Materia Orgánica Muerta.....	13
Sección 4: Valoración económica del almacenamiento de carbono	16
Sección 5: Escenario de Aplicación Hipotético del Instrumento en el contexto del proceso de Licenciamiento Ambiental.	16
Sección 6: Conclusiones Generales.....	19
Bibliografía	20
Anexos.....	22
Anexo 1. Tabla de homologación de las categorías IPCC y las coberturas de la tierra metodología CLC para el análisis del almacenamiento de carbono.....	22

Introducción

De acuerdo con el Instrumento de Estandarización y Jerarquización de Impactos 2023¹, la alteración a las coberturas vegetales es uno de los impactos con mayor frecuencia de reportes en los proyectos, obras y actividades (en adelante, POA) sujetos de licenciamiento ambiental. Este impacto representa una amenaza directa sobre el servicio ecosistémico de regulación climática cuya función principal consiste en nivelar el flujo de los Gases Efecto Invernadero (en adelante, GEI) presentes en la atmósfera, responsables del fenómeno de calentamiento global.

Este último es producto de una amplia gama de cambios que le están ocurriendo al planeta como resultado del incremento de las emisiones de los GEI vinculadas con las actividades humanas; aspecto que genera consecuencias directas como: el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos y los desastres naturales, al igual que la degradación acelerada de los ecosistemas, elementos que afectan de manera directa el bienestar social de comunidades (Bagolle et al., 2023).

Bajo este contexto, y dada su importancia en la regulación climática resalta la necesidad de cuantificar, hacer control y valorar económicamente los cambios en las coberturas vegetales que se generan en el marco de los POA objeto de licenciamiento ambiental en Colombia.

En cuanto a la valoración económica del servicio de regulación climática, actualmente existe un sistema de mercados de carbono a través del cual los gobiernos, empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones de GEI, basados en “bonos de carbono” o también denominados CERs (certificados de reducción de emisiones en el mercado regulado) ó VCU (voluntary carbon units, en el mercado voluntario), lo cual permite realizar aproximaciones de valoración para este servicio. A nivel nacional se estableció como parte de la estrategia de abordar los compromisos del país en la reducción de emisiones climáticas, una reglamentación que sustenta un impuesto al carbono bajo la Ley 1819 de 2016, el cual aplica en la primera actividad de la cadena de suministro por venta, importación o autoconsumo de cualquiera de los combustibles fósiles grabados dentro del territorio colombiano (MADS, 2023).

Conforme a lo anterior, el presente documento ofrece un listado de factores de retención de carbono que pueden ser usados como datos de referencia para la cuantificación del carbono almacenado en un área de interés. No obstante, es de aclarar que, dada la disponibilidad de información, modelos y resultados estimados, persisten limitaciones técnicas las cuales incluyen, entre otras, la adecuación de factores de almacenamiento de carbono a escala local, la simplificación del flujo de carbono, y el supuesto de linealidad temporal en el almacenamiento de carbono de las coberturas. Estas consideraciones, junto con el grado de incertidumbre de los resultados, deben ser analizadas y consideradas por los usuarios en el momento de usar el instrumento.

En virtud de lo expuesto, este documento se estructura en seis secciones. En la primera sección se establecen los conceptos de la emisión de GEI y la cuantificación de los principales depósitos de carbono; la segunda sección muestra una síntesis de la información histórica del cambio climático en Colombia; en la tercera sección se aborda la consecución de las bases de datos y sus respectivas fuentes de información. La cuarta sección, expone la información concerniente a la valoración económica en Colombia del carbono. En la quinta sección se presenta un ejercicio hipotético práctico que ilustra cómo se debe usar

¹ <https://www.anla.gov.co/images/documentos/protocolos/2024-01-16-anla-est-jerar-imp-amb.pdf>

de este instrumento para estimar las existencias de carbono de una cobertura que fue intervenida por un POA, mediante el valor medio de los factores de almacenamiento de carbono por hectárea según tipo de cobertura. Finalmente, en la sexta sección se presentan las principales conclusiones y recomendaciones derivadas del instrumento.

Objetivo

El objetivo principal de este instrumento consiste en ofrecer valores de referencia del carbono almacenado en las áreas licenciadas por la ANLA y una metodología para su valoración económica.

Alcance

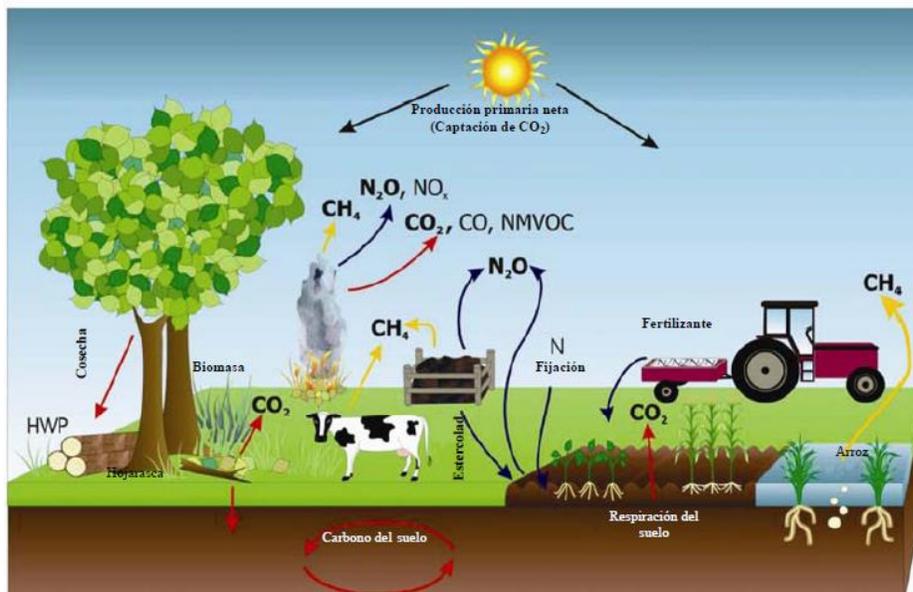
El instrumento debe considerarse como una guía de datos de referencia que facilita tener una aproximación al carbono almacenado en diferentes regiones del territorio colombiano de interés para ANLA, proporcionando un comparativo de información. De igual manera, busca que sea utilizado por usuarios solicitantes y titulares de licencias ambientales, y también por las diferentes subdirecciones internas de ANLA para fines pertinentes.

Sección 1: Conceptos Metodológicos de Cambio Climático y Cuantificación de Carbono.

La emisión de GEI derivada de ciertas actividades llevadas a cabo por proyectos con licencia, como el aprovechamiento forestal y el cambio de uso de la tierra, puede contribuir al aumento de la cantidad de radiación infrarroja atrapada en la atmósfera. El suelo, los bosques, y otras áreas naturales (e.j. arrecifes de coral) que, en conjunto almacenan más CO₂ que la propia atmósfera. En consecuencia, la remoción o degradación de cualquiera de estas coberturas no solo resulta en la liberación del carbono previamente retenido, sino que también afecta directamente la capacidad de estas superficies naturales para absorber o capturar el CO₂ presente en el ambiente.

Para el caso de los ecosistemas terrestres, las emisiones de CO₂ se originan a partir de modificaciones en el almacenamiento de carbono en la biomasa, la materia orgánica muerta y suelos minerales. La fotosíntesis de las plantas es uno de los principales mecanismos de captación de CO₂ desde la atmósfera a los ecosistemas, mientras que su liberación ocurre mediante procesos generados por la respiración, la descomposición y la combustión de la materia orgánica, así como, por la nitrificación/desnitrificación de ecosistemas y la fermentación entérica de estiércol (IPCC, 2006). La Figura 1 representa las principales fuentes de emisión y absorción de GEI conforme las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

Figura 1. Principales fuentes de emisión/absorciones de gases de efecto invernadero y procesos en ecosistemas gestionados.



Fuente: (IPCC, 2006)

En términos generales, los principales GEI que presentan un mayor interés de estudio son el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄). Cada uno de estos gases posee un potencial de calentamiento global distinto, y su medición se lleva a cabo utilizando el CO₂ como gas de referencia, expresándose en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). La Tabla 1 muestra el potencial de calentamiento de estos GEI.

Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global de gases de efecto invernadero comparado al CO₂²

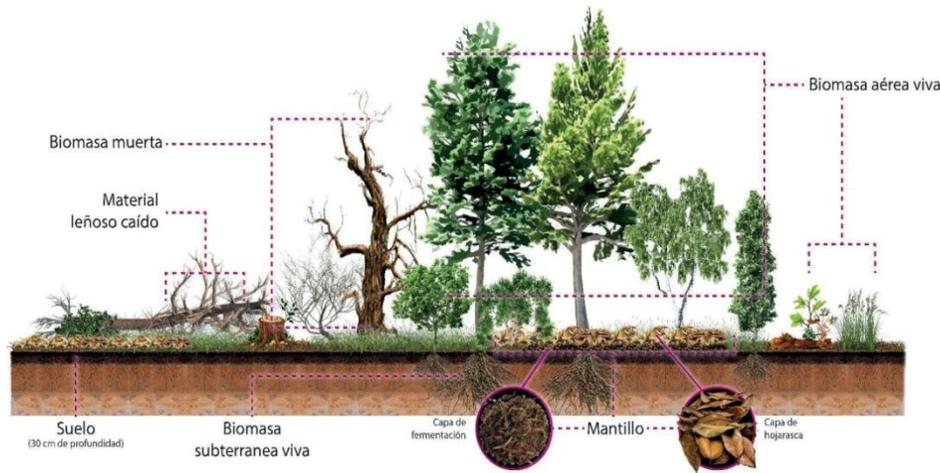
Gas Efecto Invernadero	Potencial de Calentamiento Global
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano CH ₄	25
Óxido nitroso (N ₂ O)	310

Fuente: Segundo informe de evaluación del IPCC, 1995 (AR2).

A nivel terrestre, los principales depósitos de carbono se encuentran en la biomasa aérea y subterránea de la vegetación, la materia orgánica muerta (troncos y hojarasca) y los suelos. La biomasa vegetal, que abarca tanto sus partes aéreas como subterráneas, desempeña un papel fundamental en la absorción y almacenamiento de CO₂ de la atmósfera (IPCC,2006). Esta biomasa incluye tanto la vegetación maderera como la herbácea, abarcando toda la materia que esté por encima del suelo, como tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje. Las raíces vivas mayores a 2mm de diámetro componen la biomasa subterránea. En la Figura 2 se ejemplifican los diferentes depósitos terrestres de almacenamiento de carbono.

² Horizonte temporal de 100 años en relación con el CO₂

Figura 2. Depósitos terrestres de almacenamiento de carbono



Fuente: Casiano-Domínguez, M. 2018

En Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) publicó en el 2011 el Mapa de Carbono Forestal Biomasa Aérea. En este estudio, se presentan los resultados de la estimación de las reservas potenciales de carbono almacenado en la biomasa aérea contenida en los bosques naturales de Colombia, de acuerdo a lo establecido por el IPCC (2006). Esta información fue generada en 3.499 levantamientos florísticos e inventarios forestales en 838 hectáreas (ha) durante el periodo 1990-2010 (Phillips et al., IDEAM, 2011). Cabe anotar que los cálculos de estos valores, se obtuvieron estimando la biomasa aérea (BA) mediante subconjunto de las ecuaciones alométricas, los cuales fueron llevados a carbono con el supuesto que el 50% de la BA de bosques tropicales es carbono (Phillips et al., IDEAM, 2011).

La hojarasca, que incluye la biomasa no viva con un rango de entre 2mm y 10cm de diámetro y madera muerta leñosa no viviente en pie o tendida en suelo, compone el depósito de materia orgánica muerta. Esta materia, tiene diferentes tiempos de descomposición, los cuales pueden variar de meses a décadas dependiendo del uso del suelo y la combinación con detritus frescos.

Por último, la materia orgánica del suelo que incluye el carbono orgánico contenido en suelos minerales y las raíces finas (<2mm de diámetro) vivas o muertas, conforman el sumidero de carbono del suelo. De igual forma, los suelos representan el mayor reservorio de carbono orgánico terrestre en el mundo, por lo que es crítico su cuantificación y monitoreo (Jackson et al., 2017). La cantidad de carbón contenida en suelo por unidad de área depende de la geología local, las condiciones climáticas y el uso y la gestión de tierras, entre otros. (FAO, 2017). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el carbono presente en el suelo se considera como el indicador más significativo para evaluar la seguridad alimentaria y desempeña un papel crucial en la capacidad de resiliencia ante el cambio climático. Los impactos ambientales que propician la generación de suelos desnudos, así como el riego excesivo, contribuyen a la liberación de carbono y a la erosión masiva del suelo.

En el año 2017, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) publicó el Mapa Nacional de Stock de Carbono Orgánico de suelo para Colombia. Este mapa estima las existencias de carbono en polígonos de 1 km², proporcionando una matriz que refleja la distribución y cantidad de carbono orgánico en el suelo

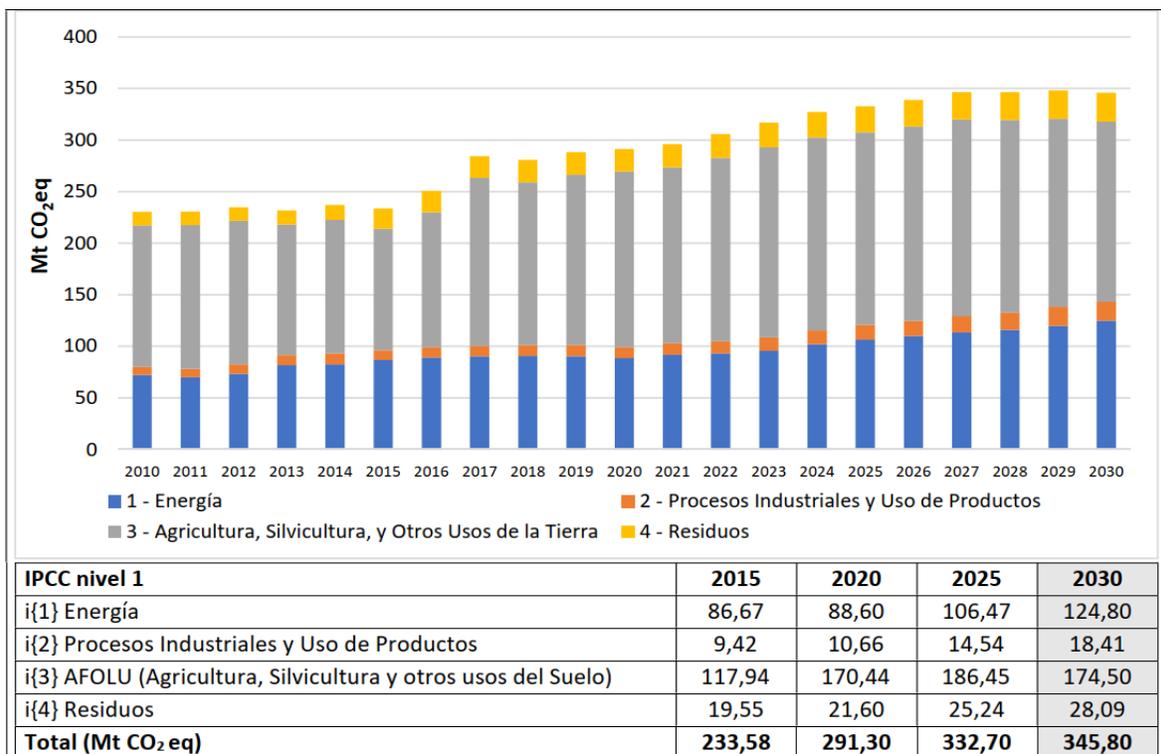
a lo largo del país. Este tipo de información resulta esencial para comprender y abordar la dinámica del carbono en el suelo, así como para implementar estrategias efectivas en la gestión sostenible de los recursos naturales.

Sección 2: Cifras del Cambio Climático en Colombia

Conforme las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático la emisión y absorción de GEI se puede atribuir a 4 grandes sectores: i) Energía, ii) Residuos, iii) Procesos Industriales y Utilización de Productos (IPPU por sus siglas en inglés) y, iv) Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, (AFOLU por sus siglas en inglés). Para este último sector, el sector AFOLU, se conforma por 6 categorías de uso y gestión de la tierra que son: Tierras Forestales, Tierras de Cultivo, Pastizales, Humedales, Asentamientos y Otras Tierras.

De acuerdo al documento sobre la actualización periodo 2020-2030 de Colombia para los compromisos asumidos por los países que forman parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la Contribución Determinada a Nivel Nacional (en adelante, NDC), cuando se analiza la participación de sectores, el sector AFOLU representó el 50,5% de las emisiones de GEI producidas por el país en 2015 y se proyecta mantenga esta tendencia para el año 2030 (Figura 3)

Figura 3. Desagregación de emisiones según su clasificación IPCC³

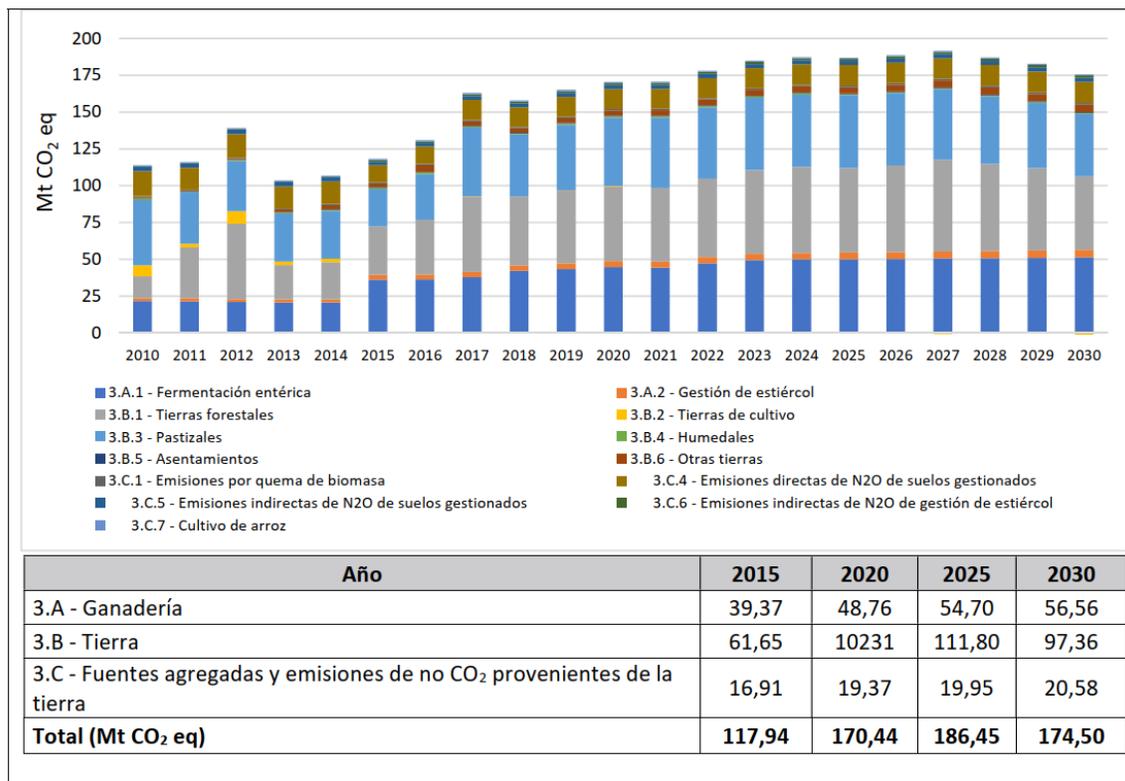


Fuente: Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC), 2020

³ Conversión de unidades: 1000 Gg CO₂ eq = 1 Mt CO₂ eq = 1.000.000 t CO₂ eq.

Este documento, también señala que cuando se hace un análisis sobre el sector AFOLU, de las emisiones asociadas al uso de la tierra (categoría Tierra {3B}), la proyección de las emisiones debidas a la deforestación asciende a 87,38 Mt CO₂ eq en el año 2030 (Figura 4).

Figura 4. Desagregación de emisiones sector AFOLU en Colombia

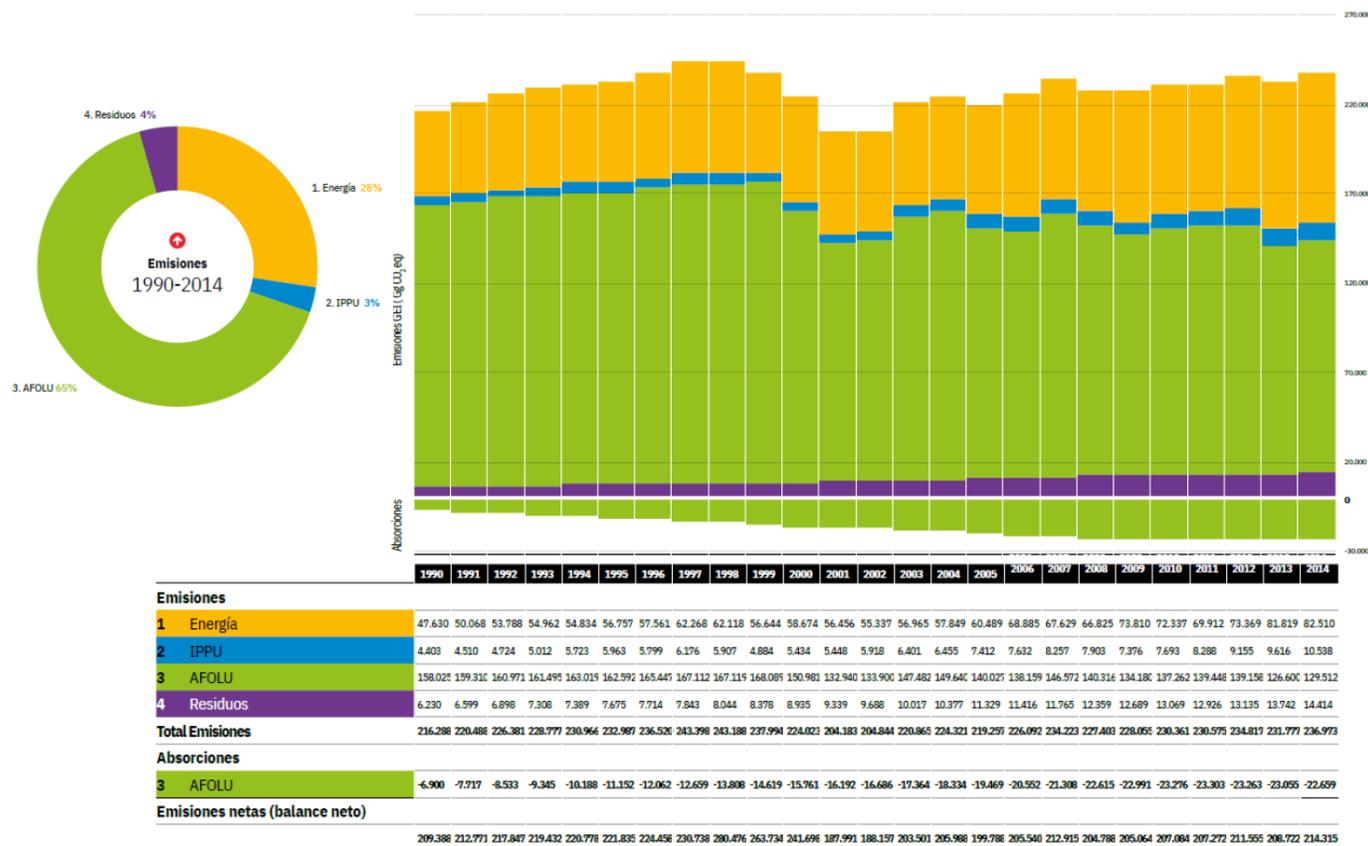


Fuente: Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC), 2020

En relación con las absorciones, en 2018 (IDEAM et al., 2018), el Segundo Reporte Bial de Actualización reportó la serie histórica agregada de balance neto de emisiones y absorciones de GEI para Colombia de 1990 a 2014, el informe encontró que las emisiones totales estimadas de GEI directos para 2014 fueron de 236.973 Gg de CO₂ eq, mientras que las absorciones de CO₂ estimadas fueron de -22.659 Gg de CO₂ eq, para un balance neto de emisiones de 214.315 Gg de CO₂ eq, lo cual considerando el total de emisiones globales corresponde a aproximadamente el 0,57% de las emisiones mundiales.

Como se muestra en la Figura 5, el 100% de las absorciones de GEI se generan por el sector AFOLU, lo cual refleja la importancia de este sector para la mitigación del cambio climático y la gestión de las tierras licenciadas por ANLA. La Figura 5 también presenta los principales resultados en términos de flujo de GEI (emisiones y absorciones) para las diferentes categorías IPCC, incluido el sector AFOLU.

Figura 5. Emisiones y absorciones históricas de GEI (1990 -2014)



Fuente: IDEAM et al. (2018)

Sección 3: Datos y fuentes de Información de carbono

Para estimar la cantidad de toneladas de carbono almacenado (orgánico suelo, subterráneo, aéreo y materia orgánica muerta) que tiene una hectárea de una cobertura determinada, se usaron las siguientes fuentes por depósito de carbono.

3.1 Factores usados para el cálculo de almacenamiento de carbono en diferentes coberturas

Con el fin de establecer una misma línea en la información trabajada por ANLA y las clasificaciones de AFOLU propuesta por el IPCC, se utilizó como referencia la propuesta de leyenda y estratificación presentada por el IDEAM en el año 2011 (Yepes et. al.2011) para coberturas que relaciona las Categorías IPCC, con los Niveles I, II y III de Coberturas Corine Land Cover (CLC), reportadas en el Mapa de Ecosistemas Continentales 2017 del IDEAM. En el **Anexo 1** se observan la leyenda IPCC y su referente para las

categorías CLC para el análisis del almacenamiento de carbono, con el fin de tener una homologación de categorías.

Las principales fuentes de información para los depósitos de carbono a nivel regional y local utilizaron los valores reportados en los informes del IPCC del 2006 y el *Refinement*⁴ del 2019, así como información provista en artículos científicos en revistas indexadas y reportes de entidades gubernamentales del sector ambiental colombiano y mundial. Se aclara que todos los factores reportados para el cálculo de valor medio de almacenamiento de carbono por hectárea según tipo de cobertura constituyen valores de referencia, los cuales son susceptibles de ser mejorados, conforme la recolección información de campo o producción de información científica localizada en el área de estudio.

3.1.1 Carbono en Biomasa Aérea y Subterránea

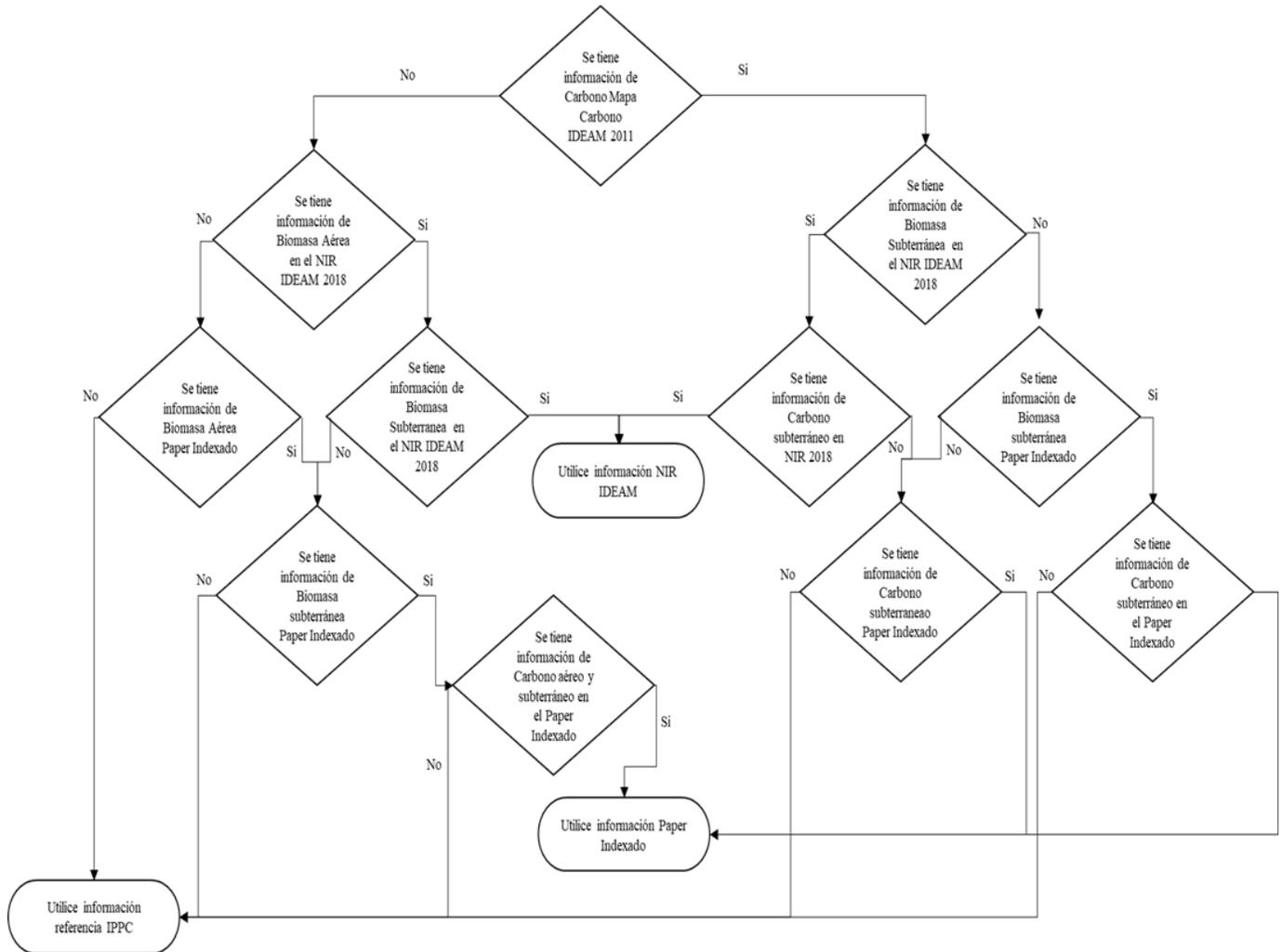
La estimación de los contenidos almacenados de carbono en la biomasa aérea y subterránea utilizó principalmente cuatro fuentes: i) Mapa de Carbono Forestal 2011 de IDEAM; ii) Informe de Inventario Nacional de GEI de Colombia (NIR); iii) las Directrices del IPCC de 2006 junto con su *Refinement* 2019 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en lo relacionado al Volumen 4 de Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en inglés) y; iv) artículos científicos.

Cabe anotar que para el caso de las coberturas de asentamiento y humedales se manejaron los siguientes supuestos: i) Para el caso de la cobertura de *territorios artificializados*, los valores utilizados para todas las fuentes de carbono son equivalentes a cero (0) Ton/ha. Lo anterior, ya que no son coberturas naturales y pueden generar algún grado de afectación en los cálculos para cada región; ii) asimismo, para los valores de almacenamiento de carbono aéreo y subterráneo en las coberturas CLC de: Cuerpo de agua artificial, Laguna y Río se asigna un valor de 0 Ton/ha para sus áreas. iii) Finalmente, para aquellos cuerpos de agua con coberturas CLC de Vegetación acuática sobre cuerpos de agua y zonas pantanosas en donde el Mapa de Carbono de IDEAM reportó un valor mayor a cero, se incorporó para el carbono aéreo este valor.

De igual forma, y con el fin de ofrecer herramientas en la exploración de fuentes información para POAs, este documento presenta una hoja de ruta (Figura 6) que permite establecer una búsqueda sistemática de fuentes para el almacenamiento de carbono en biomasa aérea y subterránea, en un área de interés en el territorio nacional.

⁴ El "2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*" (*perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*), fue adoptado y aceptado durante la 49.ª sesión del El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en mayo de 2019. El *2019 Refinement* se consideró en mayo de 2019 durante la 49.ª sesión del IPCC (Kyoto, Japón) y se adoptó/aceptó el 12 de mayo de 2019 ([Decisión – IPCC-XLIX-9 – Adopción y aceptación del refinamiento de 2019](#)).

Figura 6. Hoja de ruta para la escogencia de valores de Carbono biomasa aérea y subterránea para un área en específico.



Fuente: Grupos de Instrumentos SIPTA - ANLA

3.1.2 Carbono Orgánico Suelo

Toda la información de este sumidero fue tomada del Carbono Orgánico del Suelo (MCOS)⁵ en el que se estima la existencia de carbono sobre el territorio colombiano para polígonos de 1km² (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017) 1km².

⁵ Información que está disponible en el portal <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>

3.1.3 Carbono Materia Orgánica Muerta

La información para este sumidero fue tomada del capítulo 2 de *Refinement* de 2019 de la Metodología para el volumen 4 del sector AFOLU (IPCC, 2019).

Con las fuentes de información para el almacenamiento para carbono descritas anteriormente: carbono orgánico del suelo, carbono aéreo, carbono subterráneo y carbono en materia orgánica muerta, se realizan los factores de almacenamiento de C por hectárea (tC/ha) de las categorías de cobertura CLC nivel IV para las regiones de trabajo ANLA (Tabla 2).

Cobertura CLC Nivel IV	Alto Magdalena					-Caribe -Pacífico-Río Cauca					-Medio Magdalena -Norte Orinoquía-Catatumbo				-Sur Orinoquía-Amazonas					
Manglar de aguas marinas						27,8	57,3	42,9	8,4	136,4										
Manglar de aguas mixohalinas						22,3	55,4	42,9	8,4	129,0										
Mosaico de cultivos con espacios naturales	30,6	58,9	0,0	0,0	89,5	20,4	57,7	0,0	0,0	78,1	22,7	82,5	0,0	0,0	105,2	22,3	90,5	0,0	0,0	112,8
Mosaico de cultivos y espacios naturales	39,1	61,6	0,0	0,0	100,7	48,4	64,2	0,0	0,0	112,7	37,2	61,2	0,0	0,0	98,5	33,1	58,3	0,0	0,0	91,4
Mosaico de cultivos y pastos	44,2	56,9	0,0	0,0	101,1	28,5	55,7	0,0	0,0	84,2	36,8	54,1	0,0	0,0	90,9	25,1	48,8	0,0	0,0	73,9
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	41,4	69,4	0,0	0,0	110,7	27,4	73,0	0,0	0,0	100,5	37,2	68,6	0,0	0,0	105,8	30,7	69,4	0,0	0,0	100,1
Mosaico de pastos con espacios naturales	27,4	62,9	0,0	0,0	90,3	20,5	65,5	0,0	0,0	85,9	24,8	61,7	0,0	0,0	86,5	23,8	63,6	0,0	0,0	87,4
Mosaico de pastos y espacios naturales	33,4	63,1	0,0	0,0	96,5	24,1	64,8	0,0	0,0	88,9	28,6	64,7	0,0	0,0	93,3	34,5	60,6	0,0	0,0	95,1
Palma de aceite						25,6	24,8	0,0	0,0	50,4	24,2	30,3	0,0	0,0	54,5	23,0	26,6	0,0	0,0	49,6
Pantano costero						20,7	19,6	0,0	0,0	40,2										
Papa	89,3	22,5	0,0	0,0	111,8	125,7	10,1	0,0	0,0	135,8	126,0	4,1	0,0	0,0	130,1					
Pastos	38,1	15,8	10,0	0,0	64,0	23,4	13,7	10,0	0,0	47,1	25,9	15,7	10,0	0,0	51,5	25,6	14,0	10,0	0,0	49,6
Plantación forestal	56,2	86,0	18,0	3,3	163,5	28,1	82,7	18,0	4,8	133,6	66,3	85,7	18,0	3,3	173,3	20,6	84,8	18,0	5,9	129,3
Plátano y Banano						23,2	29,8	5,4	0,0	58,4	0,0	22,9	5,4	0,0	28,3					
Playas						25,3	0,0	0,0	0,0	25,3										
Rio	28,4	0,0	0,0	0,0	28,4	24,7	0,0	0,0	0,0	24,7	26,4	0,0	0,0	0,0	26,4	25,4	0,0	0,0	0,0	25,4
Territorio artificializado	47,4	0,0	0,0	0,0	47,4	21,9	0,0	0,0	0,0	21,9	27,2	0,0	0,0	0,0	27,2	24,5	0,0	0,0	0,0	24,5
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	42,9	33,5	0,0	0,0	76,4	19,4	4,9	0,0	0,0	24,3	19,5	66,0	0,0	0,0	85,4	19,9	38,2	0,0	0,0	58,1
Vegetación secundaria	32,6	24,9	7,5	3,3	68,3	24,5	31,2	7,5	4,8	67,9	27,4	27,0	7,5	3,3	65,2	30,3	24,8	7,5	5,9	68,5
Zonas arenosas naturales	28,9	117,4	0,0	0,0	146,2	13,2	54,3	0,0	0,0	67,5	23,3	1,7	0,0	0,0	25,0	21,9	2,4	0,0	0,0	24,3
Zonas pantanosas	40,5	56,7	0,0	0,0	97,2	21,6	13,9	0,0	0,0	35,5	23,9	22,7	0,0	0,0	46,6	22,4	16,4	0,0	0,0	38,7

Fuente: Grupos de Instrumentos SIPTA – ANLA basado en datos de IDEAM 2011, 2017, IPCC 2006, IGAC.

Sección 4: Valoración económica del almacenamiento de carbono

Desde una perspectiva económica, el valor social asociado al secuestro de una tonelada de dióxido de carbono (CO₂) se equipara al costo del daño que se evitaría en caso de que dicha tonelada fuera liberada a la atmósfera. Se han realizado estudios de aproximaciones para el valor de un “impuesto óptimo al carbono”, Nordhaus (2007) calculó que para el año 2015 el costo social de no emitir una tonelada de carbono era de USD\$35, incrementándose a USD\$85 en 2050 y USD\$206 a 2100.

En el contexto colombiano, la Ley 1819 de 2016 en su artículo 221, modificado por el artículo 47 de la Ley 2277 de 2022, estableció el impuesto nacional al carbono, en los siguientes términos:

“ARTÍCULO 221. IMPUESTO AL CARBONO. *El impuesto nacional al carbono es un gravamen que recae sobre el contenido de carbono equivalente (CO₂eq) de todos los combustibles fósiles, incluyendo todos los derivados del petróleo, gas fósil y sólidos que sean usados para combustión. (...)*”

Así mismo, el artículo 222 de la Ley 1819 de 2016, modificado por el artículo 48 de la Ley 2277 de 2022, teniendo en cuenta las excepciones previstas en los parágrafos 3, 4, 5 y 6 *ibidem*, estableció una tarifa específica considerando el factor de emisión de GEI para cada combustible determinado, expresado en unidad de peso (kilogramo de CO₂eq) por unidad energética (Terajulios), de acuerdo con el volumen o peso del combustible. Por lo que, para el año 2024, la tarifa corresponde a \$25.799,56 por cada tonelada de CO₂ emitido, según lo estipulado por la Resolución 000007 del 31 de enero de 2024 de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN). Es importante señalar que este valor debe ser ajustado anualmente conforme a las tasas de inflación, más un punto porcentual.

Sección 5: Escenario de Aplicación Hipotético del Instrumento en el contexto del proceso de Licenciamiento Ambiental.

Todos los factores reportados para el cálculo de valor medio de almacenamiento de carbono por hectárea según tipo de cobertura son valores de referencia con sus limitaciones como se expuso en la parte introductoria. Estos datos de referencia pueden ser ajustados con cifras más precisas, conforme la recolección de información en campo o producción científica referente al área de estudio.

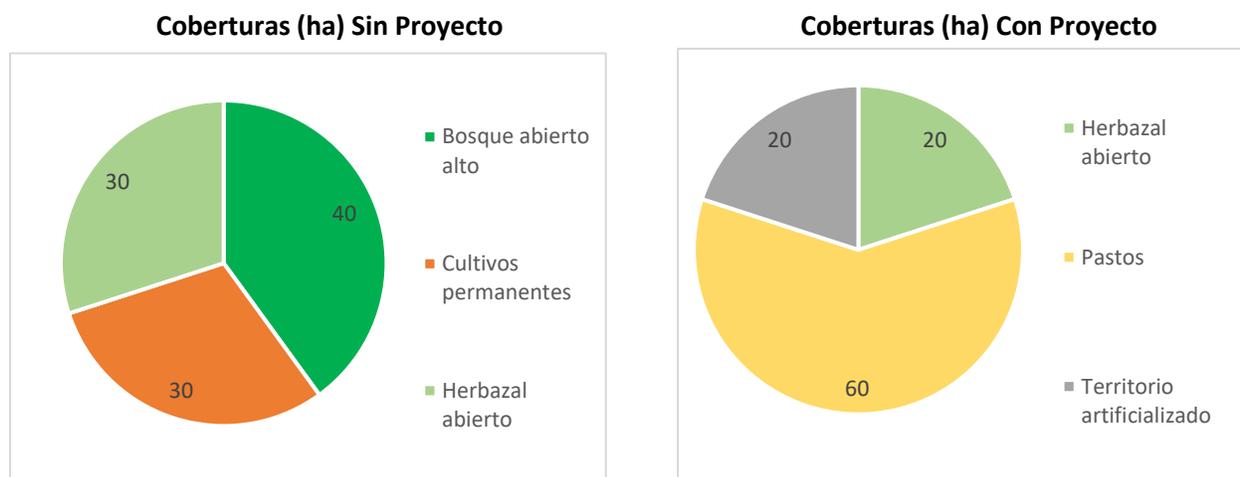
A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación del presente instrumento para la cuantificación del stock de carbono para un proyecto hipotético.

Datos del proyecto

Un área de 100 ha ubicada en la región Alto Magdalena-Cauca compuesta por bosques, cultivos y herbazales está siendo evaluada para la adecuación de un proyecto, el cual de licenciarse tendrá dos impactos significativos: Alteración a cobertura vegetal y Alteración a la calidad del suelo, dado que requiere la remoción de una capa de tierra de 30 cm de profundidad. Esta remoción de suelo se dará sobre 20 ha para transformarla en territorios artificializados. Adicionalmente, el área de bosques y cultivos

será transformada en pastos y herbazales dada la zonificación ambiental del proyecto. La Figura 7 presenta la situación Sin proyecto y Con proyecto en el área potencial.

Figura 7. Coberturas del área en evaluación para la incorporación de un proyecto



Fuente: Instrumentos SIPTA-ANLA

Factores de almacenamiento

A continuación, se estima el carbono total, considerando las coberturas (ha) del escenario sin proyecto reflejando sus variables biofísicas en la Tabla 3, la cual muestra en la columna A las coberturas, en la columna B las hectáreas, en las columnas C, D, E y F, los factores de almacenamiento de carbono que se encuentran en la Tabla 2. En la columna G se encuentra la sumatoria de las columnas C, D, E y F, y en la columna H, se expone el resultado de la multiplicación entre las columnas B y G.

Tabla 3. Uso de los factores de almacenamiento de carbono y resultados total media de carbono, escenario sin proyecto

Región Alto Magdalena							
(A) CLC (IDEAM)	(B) Área (ha)	(C) Carbono orgánico (TonC/ha)	(D) Carbono aéreo (TonC/ha)	(E) Carbono subterráneo (TonC/ha)	(F) Carbono materia orgánica muerta (TonC/ha)	(G) Carbono total (TonC/ha)	(H) Carbono total (TonC)
Bosque abierto alto	40	27,7	72,4	17,5	3,3	120,9	4.836
Cultivos permanentes	30	50,6	30,9	5,4	0,0	86,9	2.607
Herbazal abierto	30	28,5	34,4	7,0	0,0	69,8	2.094
						Total	9.537

Fuente: Instrumentos SIPTA-ANLA

En términos de almacenamiento de carbono, el área sin proyecto presenta un potencial de 9.537 tonC, representada en un 49,6% por biomasa aérea, 38,5% por el carbono orgánico del suelo, 10,7% por biomasa subterránea y 1,2% por la hojarasca.

A continuación, se hace el ejercicio anterior de cálculo de almacenamiento de carbono pero para las coberturas del escenario con proyecto (Tabla 4).

Tabla 4. Factores de almacenamiento de carbono y resultados total media de carbono, escenario con proyecto

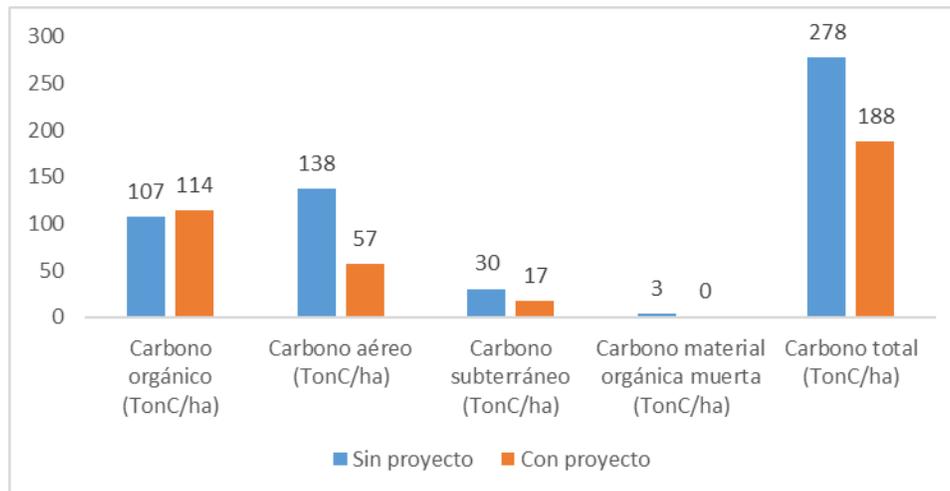
Región Alto Magdalena							
CLC (IDEAM)	Área (ha)	Carbono orgánico (TonC/ha)	Carbono aéreo (TonC/ha)	Carbono subterráneo (TonC/ha)	Carbono materia orgánica muerta (TonC/ha)	Carbono total (TonC/ha)	Carbono total (TonC)
Herbazal abierto	20	28,5	34,4	7,0	0,0	69,8	1.396
Pastos	60	38,1	15,8	10,0	0,0	64,0	3.840
Territorio artificializado	20	47,4	6,8	0,0	0,0	54,3	1.086
						Total	6.322

Fuente: Instrumentos SIPTA-ANLA

De efectuarse el proyecto, la composición cambia y el nuevo potencial de almacenamiento de la misma área será de 6.322 tonC. El cambio proyectado o Delta ambiental de la situación Sin proyecto a la situación Con Proyecto sería de 3.215 tonC (9.537 tonC (sin proyecto) – 6.322 tonC (con proyecto)), valor que representa un potencial de pérdida de carbono almacenado que deberán ser registradas en el periodo de tiempo que se efectuó el cambio de coberturas.

En términos generales la biomasa aérea del área presenta el mayor potencial de pérdida de carbono con alrededor del 59% del cambio. La biomasa subterránea representa el 43%. La Figura 8 presenta el cambio en el potencial por depósito de carbono.

Figura 8. Cambio en el potencial por depósito de carbono



Fuente: Instrumentos SIPTA-ANLA

Respecto a la valoración económica, es importante convertir las toneladas de carbono C a toneladas equivalentes de CO_{2eq}, con el propósito de evaluar el potencial de calentamiento global que estas emisiones pueden tener en el inventario de GEI. Con lo anterior, las 3.215 tonC multiplicada por 3,667 toneladas de CO_{2eq} representan un potencial de 11.789 ton CO_{2eq} las cuales valoradas económicamente con un precio del impuesto al carbono en Colombia de \$25.799,56 por cada tonelada de CO₂ emitido para 2023, plantea un costo ambiental potencial aproximado de \$304.151.012,84.

Sección 6: Conclusiones Generales

- Los datos presentados de factores de almacenamiento de carbono para los principales depósitos (Carbono orgánico del suelo, Carbono aéreo, Carbono subterráneo y Carbono materia orgánica muerta) por categorías de cobertura de la tierra en Colombia, constituyen un instrumento de referencia para el cálculo físico y monetario del servicio de regulación climática, el cual se ve afectado cuando se alteran coberturas vegetales por las actividades específicas que pueda presentar un POA.
- Los factores de almacenamiento de los depósitos de carbono para las diferentes categorías de coberturas de la tierra donde tiene actividad los proyectos licenciados por ANLA, facilitan realizar proyecciones sobre el contenido de carbono en zonas de interés para el desarrollo de un POA.
- Con la información de factores de almacenamiento de carbono por cobertura de acuerdo con cada región, y la actual normatividad sobre el impuesto al carbono en Colombia, permite desarrollar escenarios de impacto antes y después de la realización de un POA desde la valoración económica ambiental.
- Aunque este instrumento ofrece datos a nivel regional, debe ser considerado una aproximación de valores de referencia, por lo tanto, se recomienda fortalecer y complementar la información con datos en campo de las coberturas que pueden ser afectadas por el POA.

Bibliografía

Bagolle, A., Costella, C., y Goyeneche, L. 2023. Protección social y cambio climático: ¿cómo proteger a los hogares más vulnerables frente a las nuevas amenazas climáticas?. División de Protección Social y Salud. Banco Interamericano de Desarrollo. Resumen de Políticas No. IDB-PB-00375.

Casiano-Domínguez, M. 2018. El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación en México. *Madera y Bosques* vol. 24, núm. especial, e2401894 Invierno 2018

IDEAM. 2017. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/mapa-ecosistemas-continentales-costeros-marinos>

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. 2018. Segundo Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

IPCC. 1995. Segunda evaluación Cambio Climático. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC

IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. S Eggleston, L Buendia, K Miwa, et al. (eds.). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies. Available at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>.

IPCC. 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. E Calvo Buendia, K Tanabe, A Kranjc, et al. (eds.). Geneva: IPCC. Available at <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>.

Jackson, R. B., Lajtha, K., Crow, S. E., Hugelius, G., Kramer, M. G., and Piñeiro, G. 2017. The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls, *Annu. Rev. Ecol. Evol. S.*, 48, 419–445, <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234>.

MADS. 2023. Impuesto al carbono. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/impuesto-al-carbono/>

Ley 1819 de 29 de diciembre de 2016. “Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones”. República de Colombia - Gobierno Nacional.

Nordhaus, W. 2007. A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*. Vol. XLV. 686–702 pp.

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.

Phillips J.F., Duque A.J., Cabrera K.R., Yepes A.P., Navarrete D.A., García M.C., Álvarez E., Cabrera E., Cárdenas D., Galindo G., Ordóñez M.F., Rodríguez M.L., Vargas D.M. 2011. Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 32 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. 2015. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Roma, 2015

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2017). Mapa de carbono orgánico del Suelo. En Día Mundial del Suelo.

Anexos

Anexo 1. Tabla de homologación de las categorías IPCC y las coberturas de la tierra metodología CLC para el análisis del almacenamiento de carbono.

IPCC	Cobertura CLC Nivel I	Cobertura CLC Nivel II	Cobertura CLC Nivel III	Cobertura CLC Nivel IV
Asentamientos	Territorios Artificializados	Áreas urbanizadas y otras áreas artificializadas		Territorio artificializado
Humedales	Superficies de Agua	Superficies de Agua		Canales
Humedales	Superficies de Agua	Superficies de Agua		Cuerpo de agua artificial
Humedales	Superficies de Agua	Superficies de Agua		Estanques para acuicultura marina
Humedales	Superficies de Agua	Superficies de Agua		Laguna
Humedales	Superficies de Agua	Superficies de Agua		Laguna costera
Humedales	Superficies de Agua	Superficies de Agua		Rio
Humedales	Superficies de Agua	Superficies de Agua		Salitral
Humedales	Humedales	Vegetación Acuática		Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
Humedales	Humedales	Vegetación Acuática		Zonas pantanosas
Otras Tierras	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Afloramientos rocosos
Otras Tierras	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Áreas abiertas sin vegetación
Otras Tierras	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Playas
Otras Tierras	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Sedimentos expuestos en bajamar
Otras Tierras	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Zonas arenosas naturales
Praderas o pastizales	Territorios Agrícolas	Pastos		Pastos
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos transitorios		Arroz
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos permanentes		Café
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos permanentes		Caña
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos permanentes		Cultivos permanentes
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos transitorios		Cultivos transitorios
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas			Mosaico de cultivos con espacios naturales
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas			Mosaico de cultivos y espacios naturales
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas			Mosaico de cultivos y pastos
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas			Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
Praderas o pastizales	Territorios Agrícolas	Pastos		Mosaico de pastos con espacios naturales

IPCC	Cobertura CLC Nivel I	Cobertura CLC Nivel II	Cobertura CLC Nivel III	Cobertura CLC Nivel IV
Praderas o pastizales	Territorios Agrícolas	Pastos		Mosaico de pastos y espacios naturales
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos permanentes		Palma de aceite
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos transitorios		Papa
Tierras agrícolas	Territorios Agrícolas	Cultivos permanentes		Plátano y Banano
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas con vegetación Herbácea y Arbustiva	Áreas con vegetación Arbustiva	Arbustal abierto
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas con vegetación Herbácea y Arbustiva	Áreas con vegetación Arbustiva	Arbustal denso
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Bosque abierto alto
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Bosque abierto bajo
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Bosque de galería y ripario
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Bosque denso alto
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Bosque denso bajo
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Bosque fragmentado con pastos y cultivos
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas con vegetación Herbácea y Arbustiva	Áreas con vegetación Herbácea	Herbazal abierto
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas con vegetación Herbácea y Arbustiva	Áreas con vegetación Herbácea	Herbazal denso
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Manglar
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Manglar de aguas marinas
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Manglar de aguas mixohalinas
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Bosque Natural	Pantano costero
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Bosques	Plantación forestal	Plantación forestal
Tierras Forestales	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas con vegetación Herbácea y Arbustiva	Vegetación secundaria o en transición	Vegetación secundaria