



Valores de Referencia del
Potencial de Carbono Almacenado
en áreas licenciadas por ANLA.

AUTORIDAD NACIONAL DE
LICENCIAS AMBIENTALES –
ANLA- Subdirección de Instrumentos
Permisos y Trámites Ambientales
SIPTA

Elaboración:

Diego Armando Castro Amado
Jorge E. Gualdrón Duarte
Martha del Pilar Moreno

Revisó: Yolanda Casallas Abril
Silvia Vanegas Pinzon
Daniel Ricardo Paez Delgado
Carlos Alonso Rodríguez

Rodrigo Suarez Castaño
Director General

Fecha: Julio de 2021

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	2
Introducción.....	3
1. Conceptos Metodológicos de cambio climático y cuantificación de carbono.....	4
2. Cifras del Cambio Climático en Colombia.....	5
3. Datos y fuentes de Información de carbono para regiones de seguimiento competencia de la ANLA	7
3.1 Coberturas en áreas licenciadas con proyectos de competencia de la ANLA.....	7
3.1.1 Región Alto Magdalena-Cauca.....	8
3.1.2 Región Caribe-Pacífico.....	9
3.1.3 Región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo.....	10
3.2 Factores usados para el cálculo de las emisiones/absorciones de las coberturas proyectos ANLA	11
3.2.1 Carbono en Biomasa Aérea y Subterránea.....	11
3.2.2 Carbono Orgánico Suelo.....	13
3.2.3 Carbono Materia Orgánica muerta.....	13
3.3 Incertidumbre.....	13
4 Resultados por Depósito de Carbono y Regiones de seguimiento de competencia de la ANLA.....	14
4.1 Región Alto Magdalena-Cauca.....	18
4.2 Región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo.....	21
4.3 Región Orinoquia-Amazonas.....	23
4.4 Región Caribe Pacífico.....	26
5 Ejercicio hipotético para el uso del instrumento en el marco del licenciamiento ambiental.....	30
6 Conclusiones.....	32
Bibliografía.....	33
ANEXOS.....	34

Introducción

De acuerdo con el Instrumento de Estandarización y Jerarquización de Impactos 2020 la alteración a la cobertura vegetal es el impacto con mayor frecuencia en los proyectos regulados por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), cuyas áreas abarcan alrededor del 12% de la superficie terrestre de Colombia. Este impacto representa una amenaza directa sobre el servicio ecosistémico de regulación climática cuya función principal consiste en nivelar el flujo de los gases de efecto invernadero (GEI) presentes en la atmósfera que causan el calentamiento global. El cambio climático, tiene consecuencias directas sobre el bienestar de la población, por lo que su cuantificación y valoración económica es representativa en el marco del licenciamiento ambiental en Colombia, y es objeto de la evaluación y seguimiento de los proyectos, obras o actividades (POA) sujetos a esta regulación.

El objetivo principal de este instrumento es plantear las bases conceptuales para la cuantificación biofísica del carbono almacenado en las áreas licenciadas por la ANLA, con el ánimo de brindarles a los evaluadores de los POA, orientación y valores de referencia para la construcción de flujos de carbono, dado un impacto de cambio en las coberturas o de uso de tierra. En consecuencia, el presente instrumento construye una estructura metódica para la recolección de las principales fuentes de información de carbono y propone la construcción de una línea base del carbono almacenado de los POA activos en ANLA, conforme sus coberturas reportadas en el Mapa de Ecosistemas 2017 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Cabe aclarar que, dada la disponibilidad de la información, el modelo y los resultados estimados, presentan limitaciones las cuales incluyen, entre otras, la adecuación de factores de captura de carbono regionales en escala locales, la simplificación del flujo de carbono, y el supuesto de linealidad temporal en los cambios de captura de las coberturas. Todas estas consideraciones, junto con las incertidumbres deben ser analizadas por los evaluadores en el momento de realizar su concepto y mejoradas de ser posible con información de campo.

En términos económicos, el valor social del secuestro de una tonelada de CO₂ es igual al costo del daño evitado, en caso de que la misma tonelada fuera liberada a la atmósfera. Los principales daños estimados del cambio climático repercuten principalmente en pérdidas de productividad agrícola, aumento de riesgo por inundaciones y pérdida de biodiversidad, entre otras. El valor económico de estas aproximaciones varía según el tipo de escenario evaluado, cuyos rangos pueden estar entre USD \$9.55 y USD \$84.55 por tonelada métrica de CO₂ eq emitida a la atmósfera (Nordhaus, 2007 y Stern, 2007). En Colombia, la Ley 1819 de 2016, estableció un valor del impuesto al carbono (IC) de \$15.000 por cada tonelada de CO₂ emitido, el cual, debe ser ajustado anualmente por las tasas de inflación más un punto porcentual.

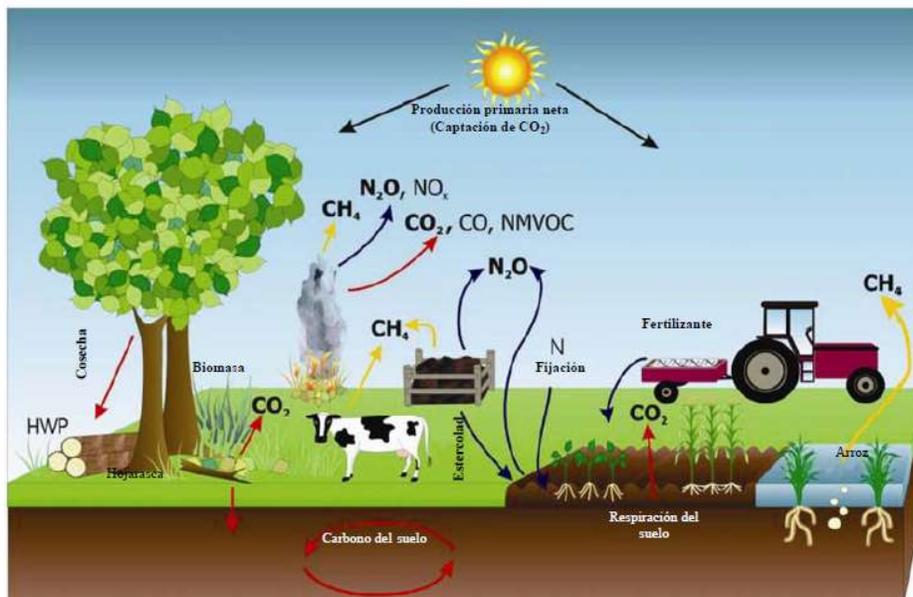
Con lo anterior, el presente documento está dividido en seis secciones. En la primera se establecen los conceptos metodológicos de la emisión de GEI y la cuantificación de carbono en las coberturas; la segunda muestra una síntesis de la información histórica del cambio climático en Colombia.; en la tercera aborda la consecución de las bases de datos y sus respectivas fuentes de información para la construcción de la línea base de carbono almacenado en áreas con licencia ANLA; en la cuarta, se presentan los resultados del análisis por región y sector. La quinta deriva un ejercicio hipotético práctico que demuestra el uso de este instrumento dinámico de consulta interna para las subdirecciones de: Evaluación de Licencias Ambientales (SELA), Seguimiento de Licencias Ambientales (SSLA) e Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales (SIPTA) en lo relacionado con la elaboración de reportes regionales del estado de los recursos naturales. Finalmente, la sexta sección concluye.

1. Conceptos Metodológicos de cambio climático y cuantificación de carbono.

La emisión de GEI derivada de algunas de las actividades desarrolladas por los proyectos licenciados, tales como, el aprovechamiento forestal y el cambio de uso de la tierra, pueden incrementar la cantidad de radiación infrarroja atrapada en la atmósfera. El suelo los bosques, y otras áreas combinadas almacenan más CO_2 que la misma atmósfera, por lo que la remoción de cualquiera de estas coberturas influye directamente, no solo en la liberación del carbono retenido, sino, además, en la capacidad de “secuestro” o captura que tienen estas superficies naturales sobre el CO_2 presente en el ambiente.

Las emisiones de CO_2 resultan por cambios en el almacenamiento de carbono de la biomasa, la materia orgánica muerta y suelos minerales. La fotosíntesis de las plantas es uno de los principales captadores de CO_2 desde la atmósfera a los ecosistemas, cuya liberación se genera 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)

A nivel general los GEI que presenta el mayor estudio en los ecosistemas son el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano CH_4 . Cada uno de estos gases presenta un potencial distinto de calentamiento global, cuya medición utiliza el CO_2 , como gas de referencia y se expresa en unidades dióxido de carbono equivalente o CO_2 eq. El carbono C es uno de los principales elementos químicos que componen los GEI, presentes en el CO_2 y CH_4 . En este documento las emisiones de gases de efecto invernadero tienen como referencia el “carbono C” cuyo valor en CO_2 eq presenta la equivalencia 1 tonelada de carbono C igual a 3,667 toneladas de CO_2 eq. La tabla 1 muestra el potencial de calentamiento de algunos GEI.

Tabla 1 Potencial de Calentamiento Global de gases de efecto invernadero comparado al CO₂

Gas Efecto Invernadero	Potencial de Calentamiento Global para 100 años
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano CH ₄	25
Óxido nitroso (N ₂ O)	310

Fuente: FAO, 2015, tomado de IPCC, 1996: Resumen técnico, Tab. 4, pág. 22

A nivel terrestre los principales depósitos de carbono se encuentran en la biomasa aérea y subterránea de la vegetación, la materia orgánica muerta y los suelos. La biomasa vegetal, incluyendo sus partes aéreas y subterráneas, constituye el principal medio de absorción de CO₂ de la atmósfera (IPCC, 2006) y está compuesta por vegetación maderera y herbácea, que incluye toda la materia que esté por encima del suelo sin diferenciar tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje. Las raíces vivas mayores a 2mm de diámetro componen la biomasa subterránea.

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 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).

El depósito de materia orgánica muerta está compuesto por la madera muerta leñosa no viviente en pie o tendida en suelo y la hojarasca, que incluye la biomasa no viva con un rango de entre 2mm y 10cm de diámetro. 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. 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 FAO el carbono del suelo es el mejor indicador para la seguridad alimentaria y juega un papel determinante en la resiliencia en el cambio climático. Impactos ambientales que promuevan la generación de suelos desnudos, así como el riego excesivo contribuyen con la liberación de carbono y la erosión masiva de suelo. En el 2018 el Instituto Geográfico Agustín Codazzi publicó para Colombia el Mapa de Carbono Orgánico de Suelo en el que se estima para polígonos de 1km² las existencias de carbono en esta matriz.

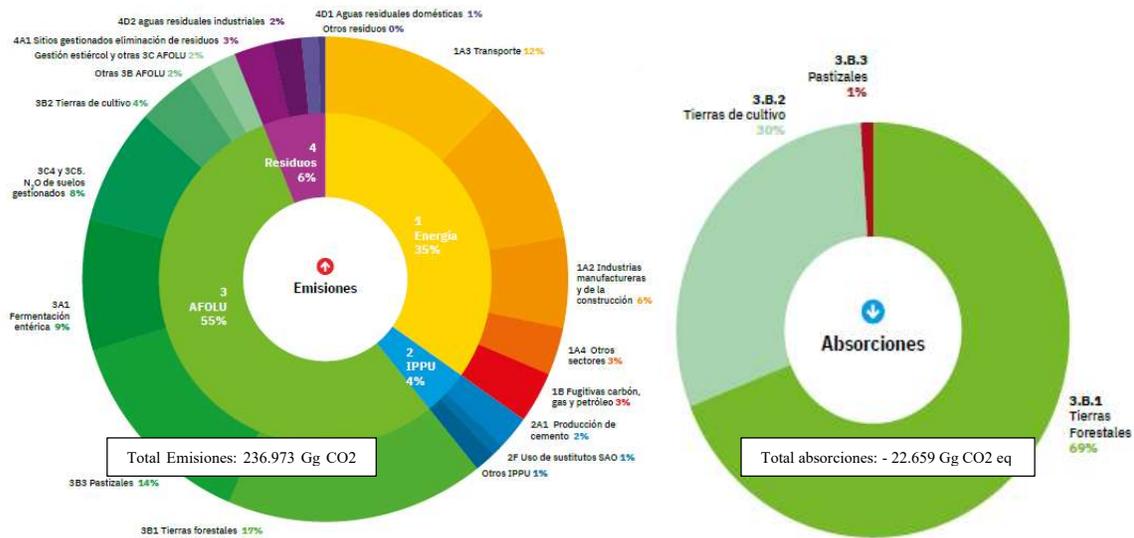
2. Cifras del Cambio Climático en Colombia

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 ingles) y, iv) Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en ingles). El sector AFOLU se componen de 6 categorías de uso y gestión de la tierra que son: Tierras Forestales, Tierras de Cultivo, Pastizales, Humedales, Asentamientos y Otras Tierras.

De acuerdo con el Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), en el 2014 aproximadamente la mitad de las emisiones de GEI producidas en Colombia corresponden a cambios de coberturas, manejo de abono y las fermentaciones entéricas del sector AFOLU (IDEAM, 2018a). Asimismo, este documento refleja que el 100% de las absorciones de GEI corresponden al 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. Las figuras 2 y 3 muestran la participación sectorial de las emisiones y absorciones GEI año 2014 respectivamente.

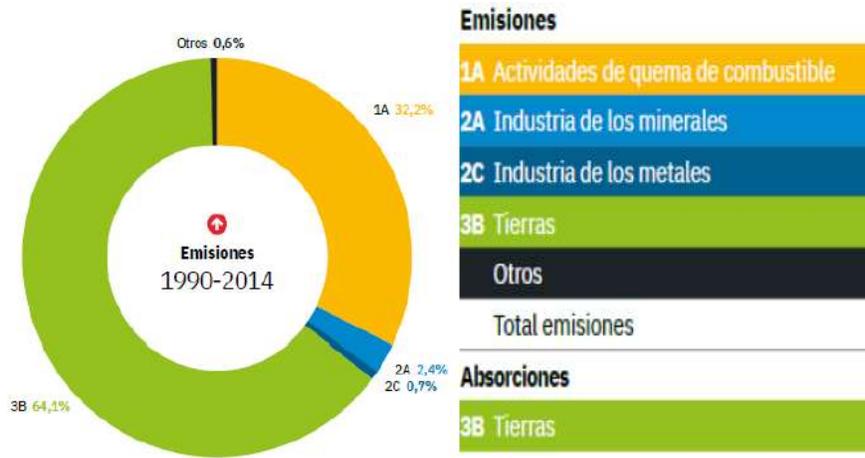
Históricamente en el Informe de Inventario Nacional de GEI de Colombia (NIR), documento que se presenta como anexo del CMCUCC, se muestra que durante el periodo 1990 -2014 el sector AFOLU aportó alrededor del 65% de las emisiones y el 100% de las absorciones de los GEI cuantificados (IDEAM, 2018b). La Figura 2 presenta los principales resultados en términos de flujo de GEI (emisiones y absorciones) para los principales sectores encontrados en el NIR y para el sector AFOLU.

Figura 2 Participación emisiones GEI 2014 (izquierda) y Participación absorciones GEI año 2014 (derecha)



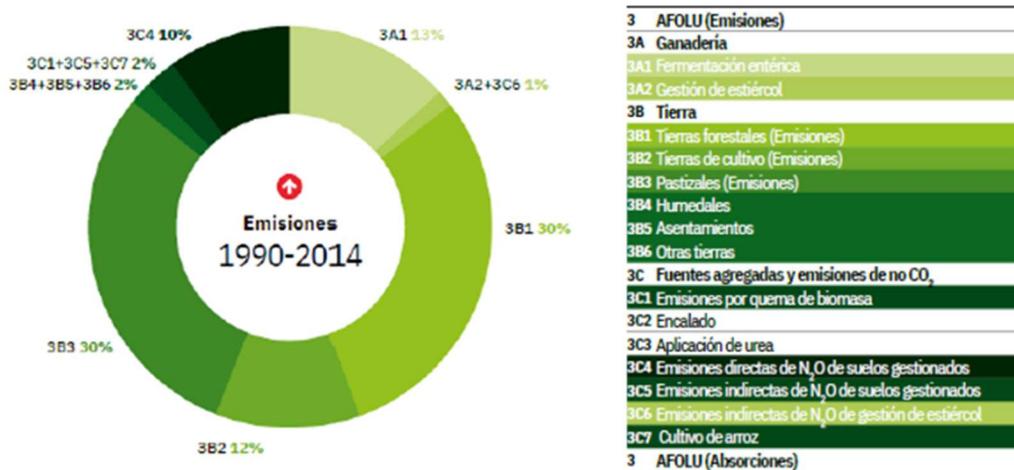
Fuente: IDEAM, 2018^a

Figura 3 Participación emisiones 1990 - 2014



Fuente: Informe de Inventario Nacional de GEI de Colombia IDEAM, 2018

Figura 4 Participación emisiones sector AFOLU 1990 - 2014



Fuente: Informe de Inventario Nacional de GEI de Colombia IDEAM, 2018

3. Datos y fuentes de Información de carbono para regiones de seguimiento competencia de la ANLA

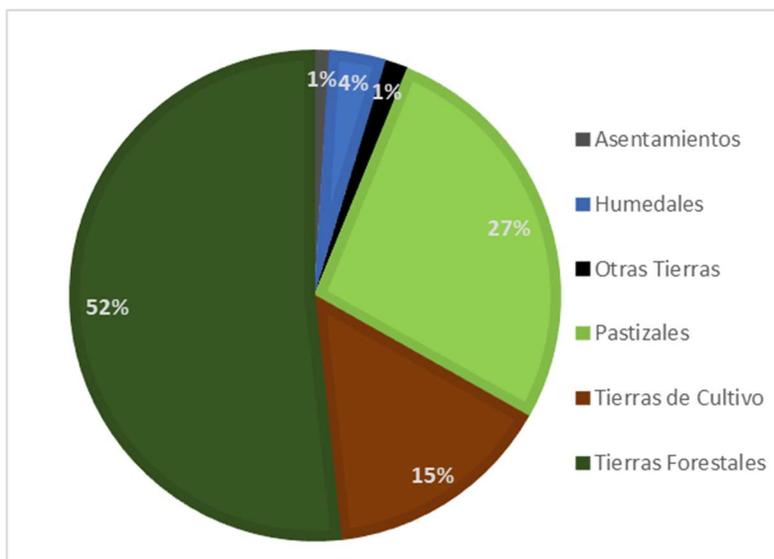
3.1 Coberturas en áreas licenciadas con proyectos de competencia de la ANLA

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 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (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. El anexo 1 muestra las clasificaciones propuestas para la relación coberturas IPCC y CLC.

En términos generales de las 13.8 millones de hectáreas licenciadas por la ANLA las Tierras Forestales (coberturas IPCC), componen más de la mitad de las coberturas, siendo los Herbazales Densos (cobertura CLC) el 32% de total. Pastizales (CLC) componen la segunda cobertura con mayor representatividad en las áreas licenciadas y las tierras de cultivo emergen en el tercer lugar. El 4% de las tierras son Humedales y los Asentamientos y Otras tierras muestran una representatividad del 1% cada una.¹ La Figura 5 muestra la participación de cada una de las coberturas reportadas con leyendas IPCC.

Figura 5 Participación coberturas IPCC presentes en las áreas licenciadas ANLA



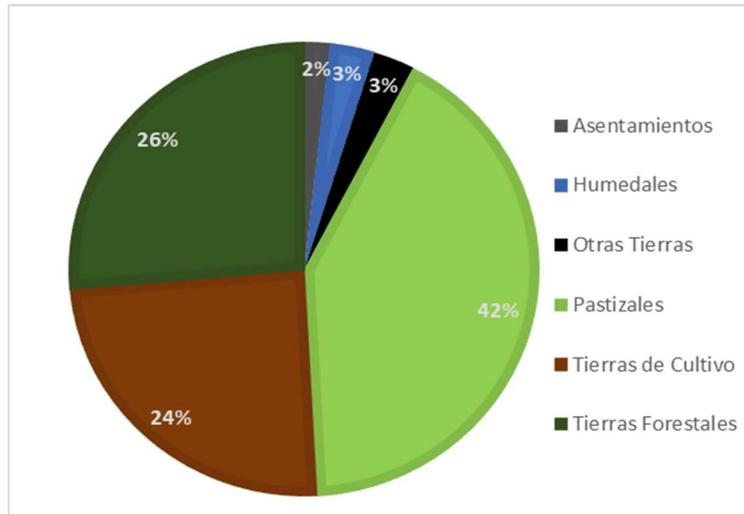
Fuente: Instrumentos SIPTA

3.1.1 Región Alto Magdalena-Cauca

El área licenciada en la región del Alto Magdalena-Cauca de los proyectos georreferenciados ANLA abarca 1'291.521 ha, *Pastos* es la cobertura CLC que presenta el mayor valor para el área licenciada por la entidad con un total de 389.567 hectáreas, representando el 30,2% (Figura 5). Seguido a esta, se encuentra *Mosaico de pastos y espacios naturales* y *Vegetación secundaria CLC*, representando el 11% y 8,5%, respectivamente. Por su parte, las coberturas de *Zonas arenosas naturales* y *Afloramientos rocosos*, son las de menor valor para la región, al presentar rangos de cobertura por debajo del 1%.

¹ 16,381 hectáreas reportadas no presentan identificación de coberturas en el Mapa de Ecosistemas IDEAM 2017, siendo estas áreas reportadas como Nubes o NA. Para efectos de áreas estas coberturas no se tienen en cuenta, no obstante, para los análisis de carbono por regiones de seguimiento y sectores estas coberturas si se incluyen dado que dado que se para algunos casos se reportan valores de carbono orgánico de suelo y carbono biomasa aérea

Figura 6 Participación coberturas IPCC presentes en las áreas licenciadas para la Región Alto Magdalena-Cauca.

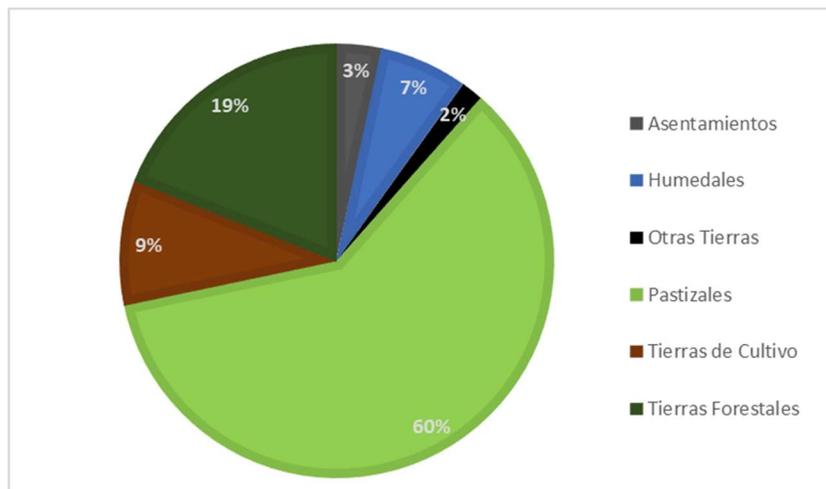


Fuente: Instrumentos SIPTA

3.1.2 Región Caribe-Pacífico

El área licenciada en la región del Caribe-Pacífico de los proyectos georreferenciados ANLA abarca 1'802.116 ha, *Pastos* es la cobertura CLC que más se presenta en área para los proyectos licenciados por la entidad, representando un poco más de la mitad del total con un 53,2%, lo cual hace referencia a 957.983 hectáreas. La cobertura CLC en segundo lugar, es *Arbustal abierto* con un 6% (110.796 hectáreas). Por su parte, *Playas* y *Sedimentos expuestos en bajamar*, son las menores CLC dentro de las áreas licenciadas con valores por debajo a 10 hectáreas (Figura 7).

Figura 7 Coberturas IPCC presentes en las áreas licenciadas por para la Región Caribe-Pacífico.

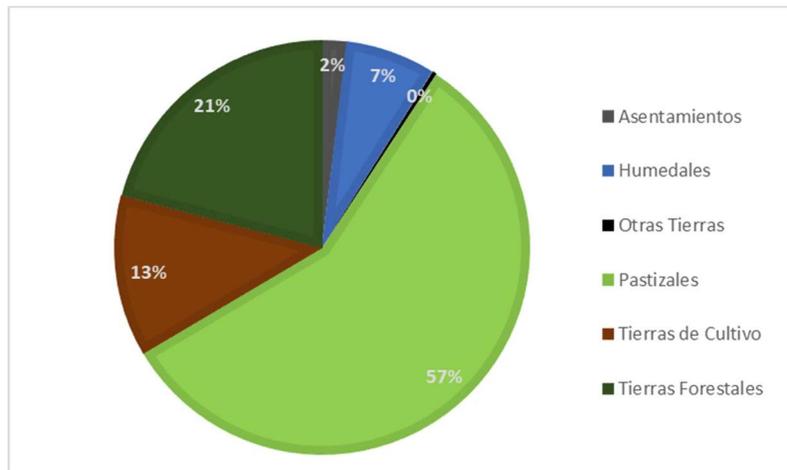


Fuente: Instrumentos SIPTA

3.1.3 Región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo

El área licenciada en la región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo de los proyectos georreferenciados ANLA abarca 1'912.253 ha. La categoría *Pastos CLC*, como las dos regiones anteriores, es la cobertura que más presenta área para los proyectos licenciados, representando aproximadamente la mitad del total del área con un 51%, es decir, 979.181 hectáreas. En segundo lugar, y con un amplio rango se encuentra las coberturas de *Vegetación secundaria* con un 6,8 % (129.152 hectáreas). Las coberturas con menos área para esta región, son para territorios agrícolas, y es para los cultivos de *Papa* con 104, 11 hectáreas y *Plátano* y *Banano* con 9,6 hectáreas, los cuales están por debajo del 1% del total bajo licenciamiento.

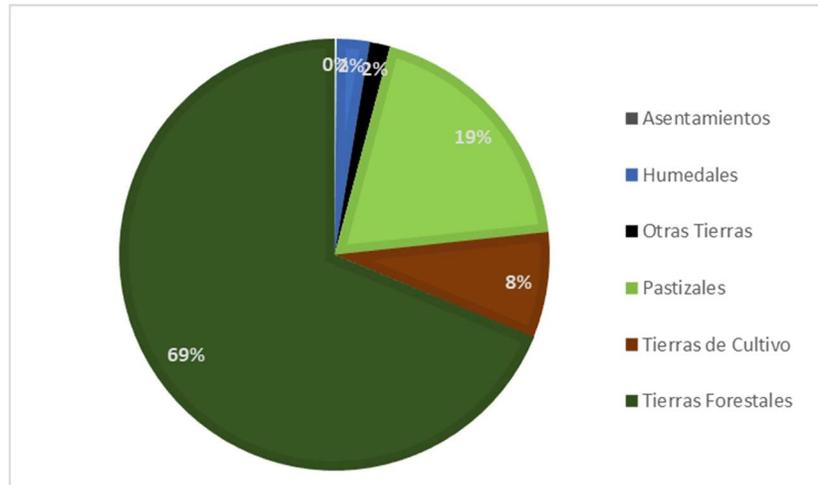
Figura 8 Coberturas IPCC de la tierra presentes en las áreas licenciadas por para la Región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo



Fuente: Instrumentos SIPTA

El área licenciada en la región Orinoquia-Amazonas de los proyectos georreferenciados ANLA presenta la mayor extensión de las 4 regiones con 8.825.948 hectáreas. En esta región la cobertura CLC de *Herbazal denso* es la de mayor extensión con un 48,4%, referente a 4.273.710 hectáreas. La cobertura de *Pastos* es la segunda en área con 1.406.293 hectáreas (aproximadamente el 16%). El cultivo permanente de *Café*, es el que presenta la menor área con 253,47 hectáreas, valor que se encuentra por debajo del 1% del área licenciada

Figura 9 Coberturas IPCC de la tierra presentes en las áreas licenciadas por para la Región Orinoquia- Amazonas



Fuente: Instrumentos SIPTA

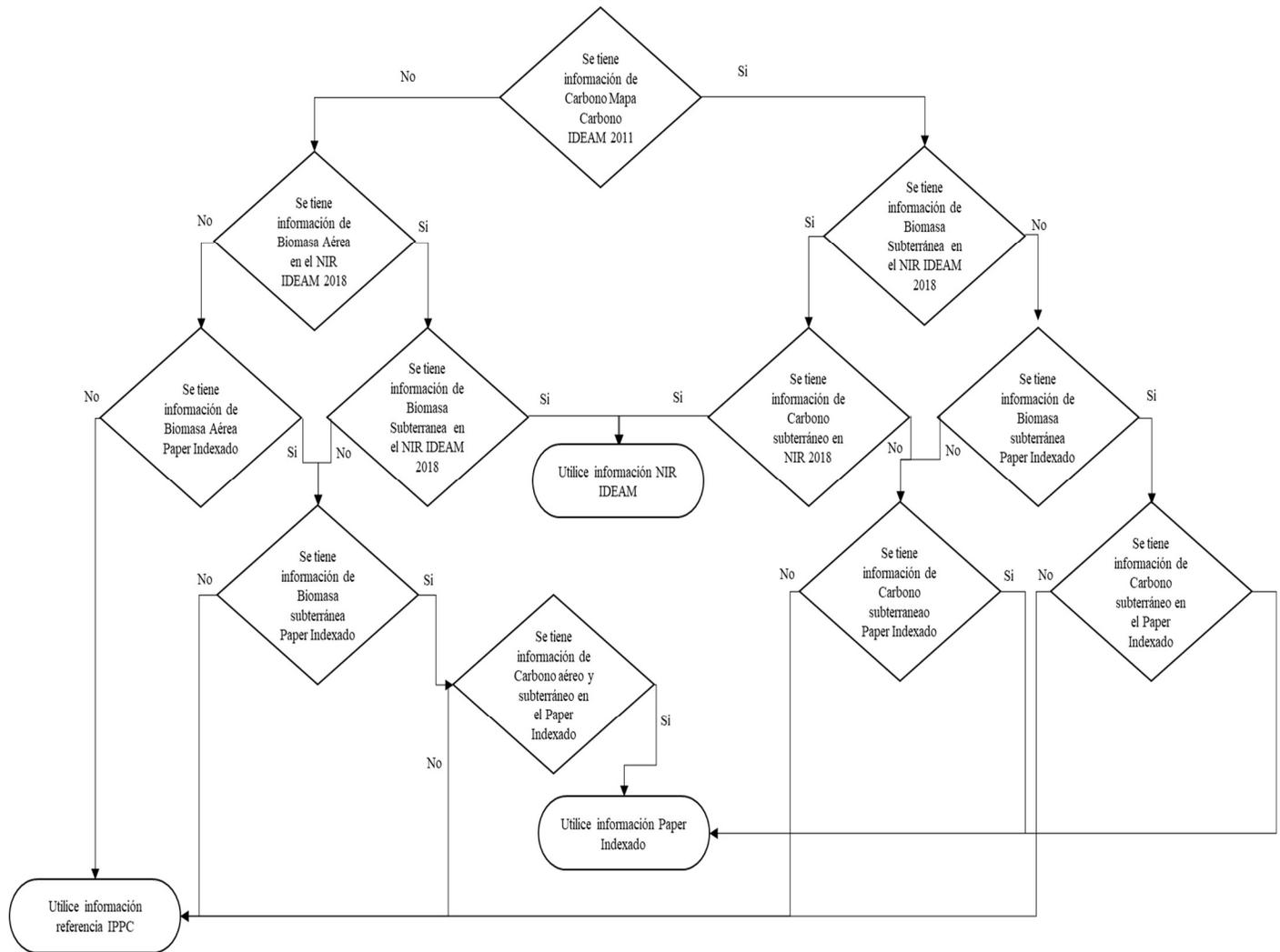
3.2 Factores usados para el cálculo de las emisiones/absorciones de las coberturas proyectos ANLA

Para el desarrollo del modelo de almacenamiento de carbono se buscaron factores de captura para cada uno de los sumideros (biomasa aérea, subterránea, suelo y materia orgánica muerta) en las diferentes coberturas CLC e IPCC de las áreas con proyecto ANLA. Las principales fuentes de información a nivel regional y local utilizaron los valores reportados en los informes del IPCC del 2006 y el Refinement 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. El anexo 2 presenta los factores de captura utilizados para cada una de las coberturas de los proyectos ANLA, acompañados de su fuente información, y valores de incertidumbres.

3.2.1 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. Con lo anterior la figura 10 presenta el algoritmo de decisión para la incorporación de valores de carbono en biomasa aérea y subterránea y sus consecuentes transformaciones a carbono.

Figura 10 Algoritmo de decisión para la escogencia de valores de Carbono biomasa aérea y subterránea en las coberturas presente en proyectos ANLA



Fuente: Instrumentos SIPTA

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. 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. El anexo 2 presenta los factores de captura utilizados para cada una de las coberturas de los proyectos ANLA, acompañados de su fuente información, y valores de incertidumbres.

3.2.2 Carbono Orgánico Suelo

Mediante la gestión del grupo de Instrumentos y Regionalización se logró que la ANLA cuente con el Mapa de Stock Carbono Orgánico de Suelo a nivel nacional (MCOS) así como del Mapa de Incertidumbre Carbono Orgánico de Suelo (MICOS) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi fueran Licenciado (IGAC) para uso de la ANLA. Cabe aclarar que sus usos dentro de la ANLA conllevan un manejo institucional sin fines comerciales, en los cuales se debe respetar los derechos de autor del propietario.

Toda la información de este sumidero fue tomada del (MCOSy (MICOS) del IGAC en el que se estima la existencia de carbono sobre el territorio colombiano para polígonos de $1km^2$. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017). La información contenida en las capas espaciales de MCOS fue vinculada a la información de coberturas dentro de cada área licenciada para obtener los valores específicos por expediente-cobertura. Para ello la capa de áreas licenciadas a junio 2020 se sobre puso primero con la capa de coberturas de la tierra de la capa de ecosistemas continentales y costeros del IDEAM. Una vez obtenidos los polígonos de coberturas por expediente, se procede a crear centroides dentro de cada polígono de ecosistemas para facilitar la extracción de valores de la capa de carbono orgánico del suelo. Con esta información, se completó la información de contenido promedio de carbono orgánico en suelo por cobertura por expediente

Finalmente, dado que los mapas MCOS y MICOS, quedan para consulta interna de todos los servidores de la ANLA, en lo relacionado a nuevos proyectos o verificación de la información previamente analizada, el anexo 5 incluye los mapas MCOS y MICOS en versión raster, así como la licencia de uso firmada por el Director de la ANLA, en la cual se estipulan las cláusulas para el acceso y uso de esta información por parte del IGAC.

3.2.3 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. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2017).

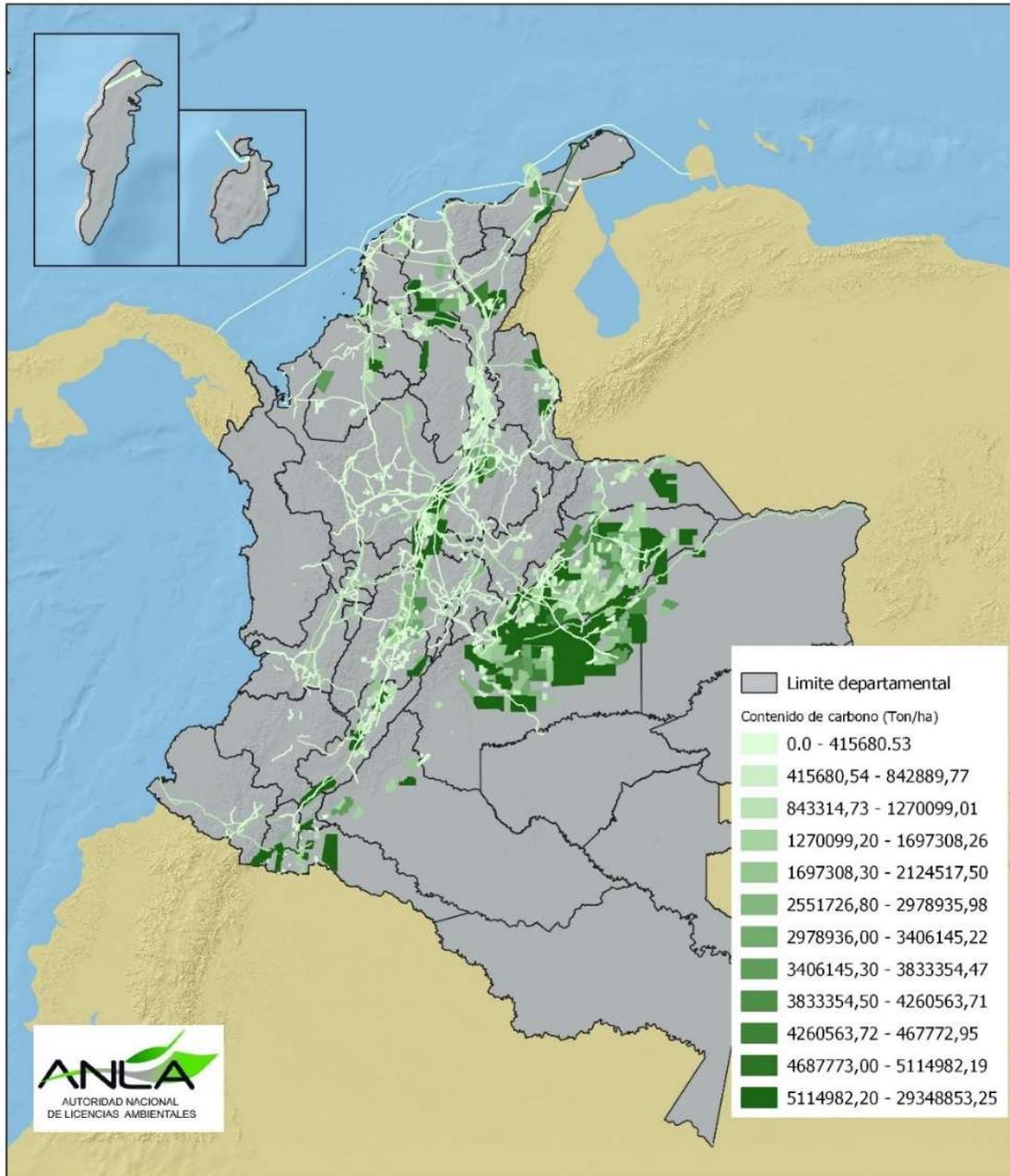
3.3 Incertidumbre

Según las directrices del IPCC 2006 y sus orientaciones sobre buenas prácticas y gestión de incertidumbre, la propagación de error (Método 1) y el método de Montecarlo (Método 2) son los métodos más utilizados para la estimación de la incertidumbre de emisiones (IDEAM 2018a). Para aquellas coberturas y sumideros (Biomasa aérea, subterránea, suelo y materia orgánica muerta) donde se reportaron las incertidumbres de los valores estimados, o del sector, las mismas fueron incorporadas dentro de los cálculos, por lo que valores se dan en intervalos de confianza, es decir se reporta un valor medio, uno máximo y un mínimo para cada dato. Cabe aclarar que tal y como lo reporta el NIR IDEAM 2018, "algunos de los valores de incertidumbre usados en el presente documento "corresponden a categorías en las cuales no es posible destacar un valor único de incertidumbre en datos de actividad y/o factores de emisión, debido a que las cifras reportadas de emisiones son la suma de varias subcategorías con distintos factores de emisión y/o metodologías de cálculo diferentes a la multiplicación de la actividad por el factor de emisión; sin embargo, y según las directrices del IPCC, cuando no se puede diferenciar la incertidumbre de los datos de actividad y/o factores de emisión, se reporta la incertidumbre combinada de la emisión reportada para dicha categoría". Nuevamente se aclara que los valores de incertidumbre utilizados en este instrumento son susceptibles de mejora, dada la recolección de información de campo o la inclusión de información científica localizada. El anexo 2 muestra los datos de incertidumbre utilizados junto con sus referencias.

4 Resultados por Depósito de Carbono y Regiones de seguimiento de competencia de la ANLA

Con la evaluación de 1209 expedientes licenciados ANLA y georreferenciados en la parte continental del territorio, se obtuvieron valores de carbono localizados por sumidero dentro de las coberturas y ecosistemas del país. Cabe anotar que los valores obtenidos son potenciales y relacionan un valor probabilístico dado las fuentes de información reportadas y los supuestos previamente enunciados. En la Figura 11 se observa la distribución de los contenidos potenciales de carbono por proyectos licenciados a junio 2020.

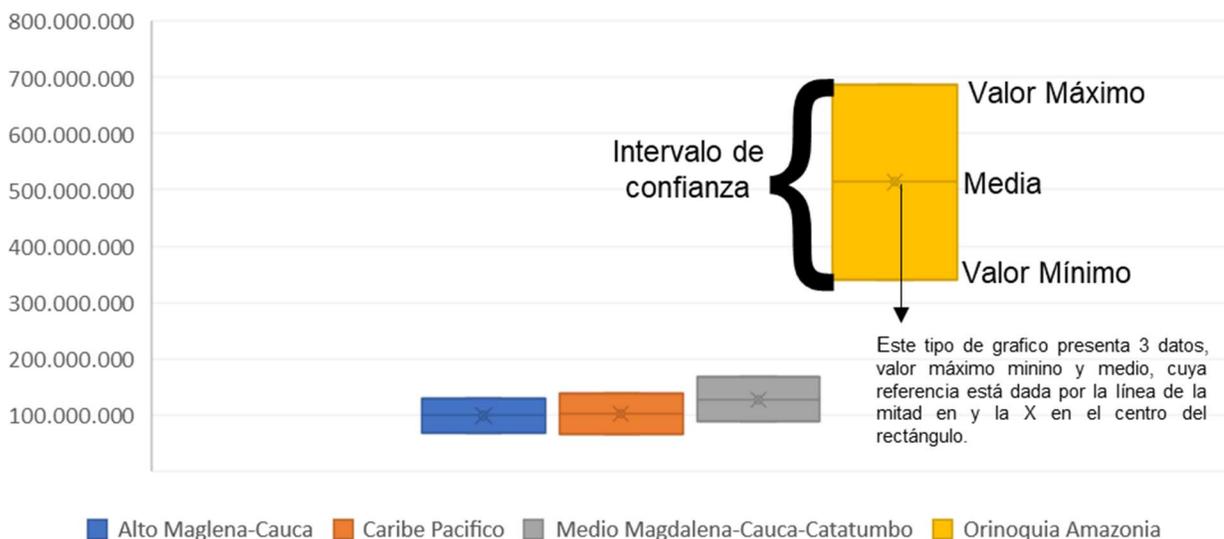
Figura 8 Distribución de contenidos potenciales de carbono por proyecto licenciado en Colombia



Fuente: Instrumentos SIPTA

Los resultados a nivel de regiones de seguimiento ANLA, muestran que en total las áreas licenciadas tienen un potencial de almacenamiento de carbono de 843.5 millones (M) de toneladas con una incertidumbre de $\pm 33\%$. En términos de emisiones potenciales este valor equivaldría a 3.000 M de ton CO_{2eq}. Por un lado, la región Orinoco-Amazonia es la región que presenta la mayor cantidad con potencial de carbono almacenado con 514M de toneladas (ton), $\pm 34\%$. Esta región al tener la mayor cantidad de área comprometida en procesos de licenciamiento representa un gran potencial de emisiones y absorciones por cambio del uso del suelo. Por otro lado, la región Alto Magdalena-Cauca presenta la menor cantidad de carbono potencial almacenado con alrededor de 99M de ton $\pm 31\%$. La Figura 92 presenta los valores estimados del carbono medio almacenado para las 4 regiones ANLA.

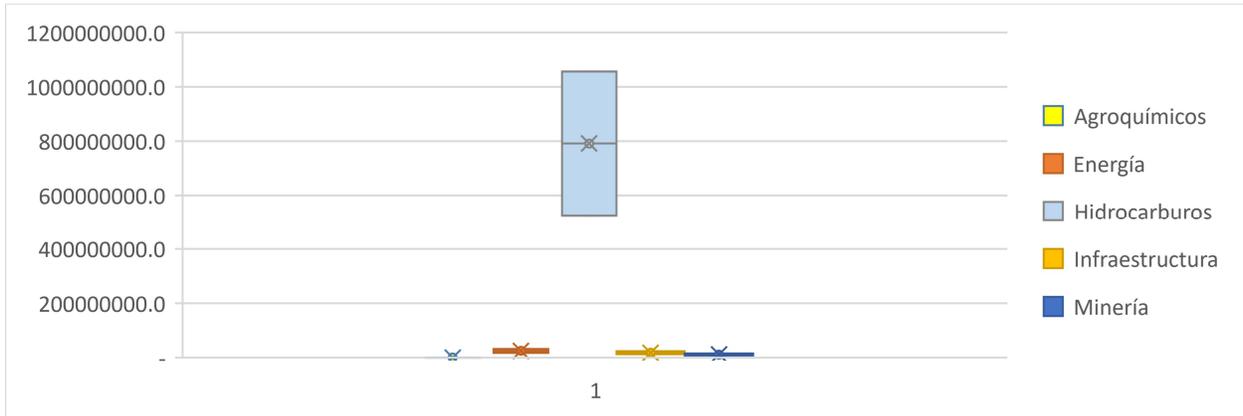
Figura 9 Total de Carbono Medio, Mínimo y Máximo Almacenado por Región Seguimiento ANLA



Fuente: Instrumentos SIPTA

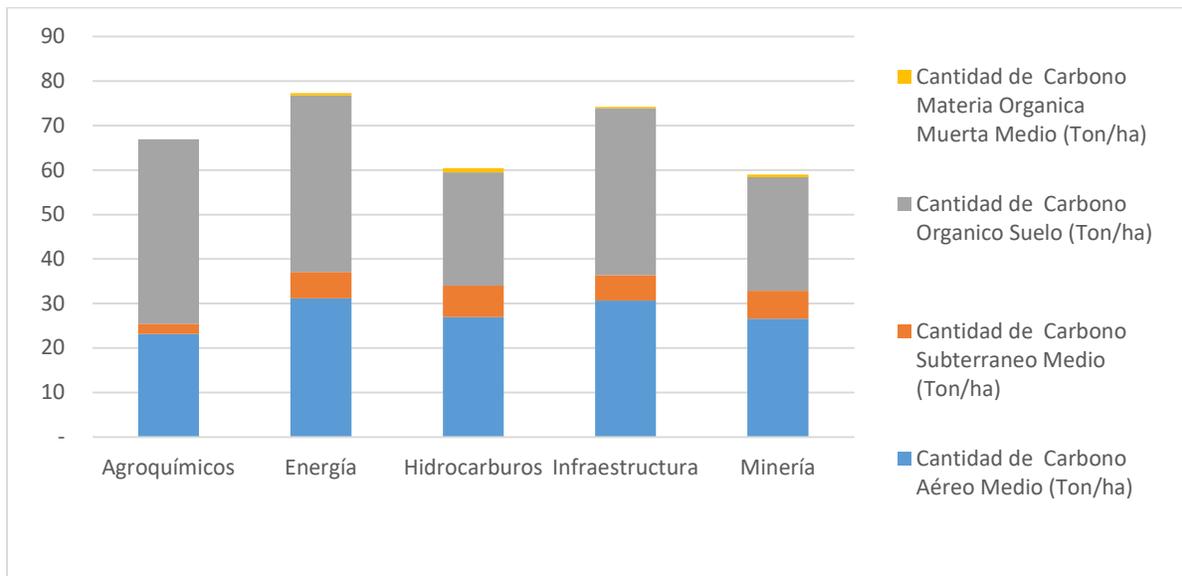
El principal sector con área con potencial de carbono almacenado en la ANLA es hidrocarburos, con un valor medio de 791M de ton $\pm 34\%$, dado en parte por su amplia área licenciada de 9,9M de hectáreas o un 72% del total de área de estudio. Los sectores de Infraestructura, Energía y Minería le siguen jerárquicamente con 24M ton $\pm 27\%$, 17M de ton $\pm 31\%$, y 11M de ton $\pm 32\%$ respectivamente. Agroquímicos mostró las menores reservas de carbono con 8.496 ton $\pm 27\%$. En términos de carbono promedio por hectárea tipo de sector, Energía muestra el mayor valor de los 5 sectores con 67tonC/ha. Infraestructura, agroquímicos, hidrocarburos y minería le siguen en orden de jerarquía para los valores promedio de carbono almacenado por hectárea. La Figura 103 muestra los valores medios en intervalos de confianza para el potencial de carbono almacenando por sector y la figura 14 evidencia la distribución promedio para los 4 depósitos de carbono (biomasa aérea, subterránea, suelo y materia orgánica muerta) en los 5 sectores evaluados ANLA.

Figura 13 Total de Carbono Medio, Mínimo y Máximo Almacenado por Sector



Fuente: Instrumentos SIPTA

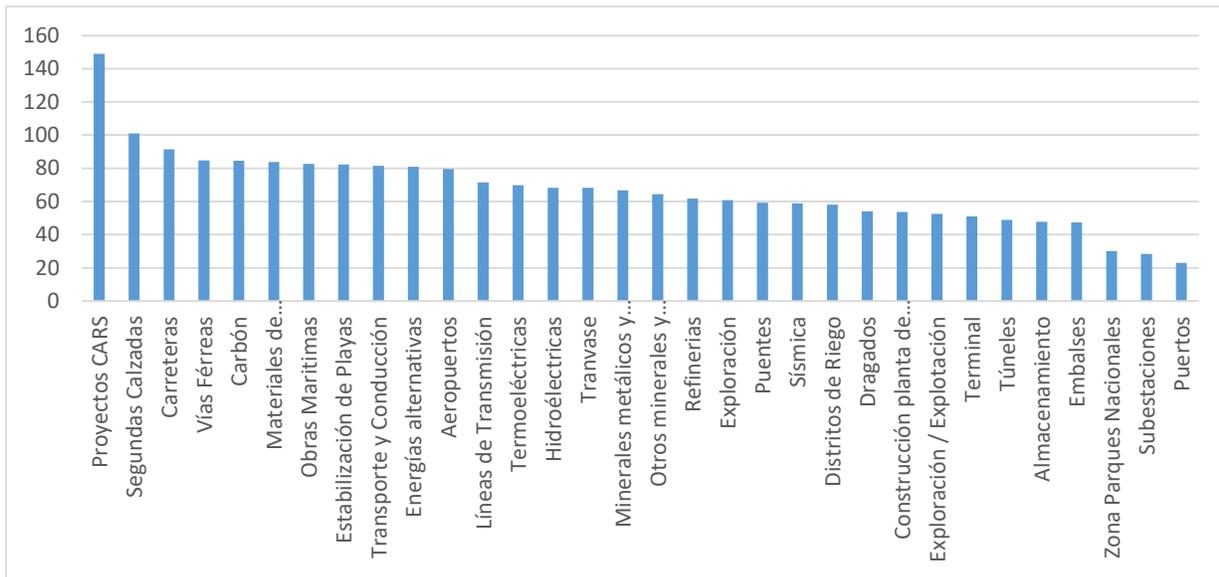
Figura 10 Distribución promedio de carbono por depósito en una hectárea tipo Sector ANLA



Fuente: Instrumentos SIPTA

Los subsectores de Proyectos CAR, Segundas calzadas y Carreteras presentan los mayores contenidos potenciales de carbono almacenados por hectárea, mientras que los subsectores de Subestaciones y Puertos presentan los menores. La Figura 155 muestra los valores medios de toneladas de carbono almacenado por hectárea para cada subsector.

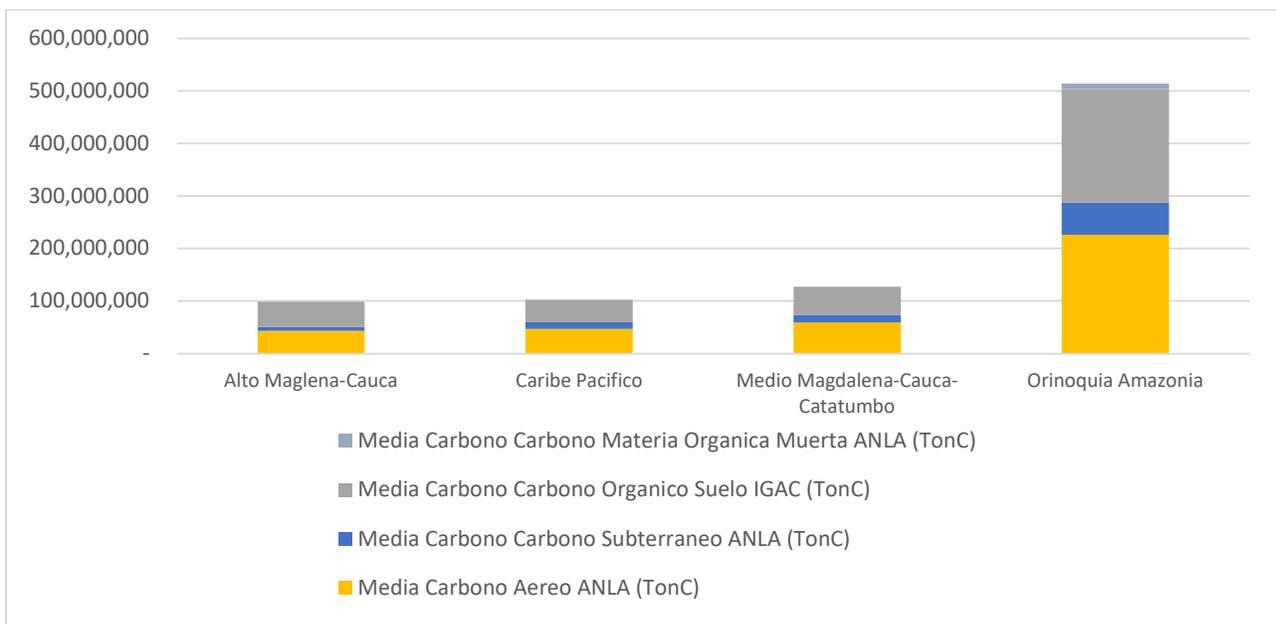
Figura 15 Carbono medio almacenado por hectárea en subsectores ANLA (TonC/ha)



Fuente: Instrumentos SIPTA

En términos de depósito de carbono las mayores reservas de los proyectos licenciados por ANLA se encuentran en el sumidero de la biomasa aérea con 374,7 M de toneladas \pm 26%, seguido por el depósito de carbono orgánico de suelo con 359M \pm 48%, y biomasa subterránea con 97M \pm 11%. La Figura 6 presenta los valores reportados por región y depósito de carbono.

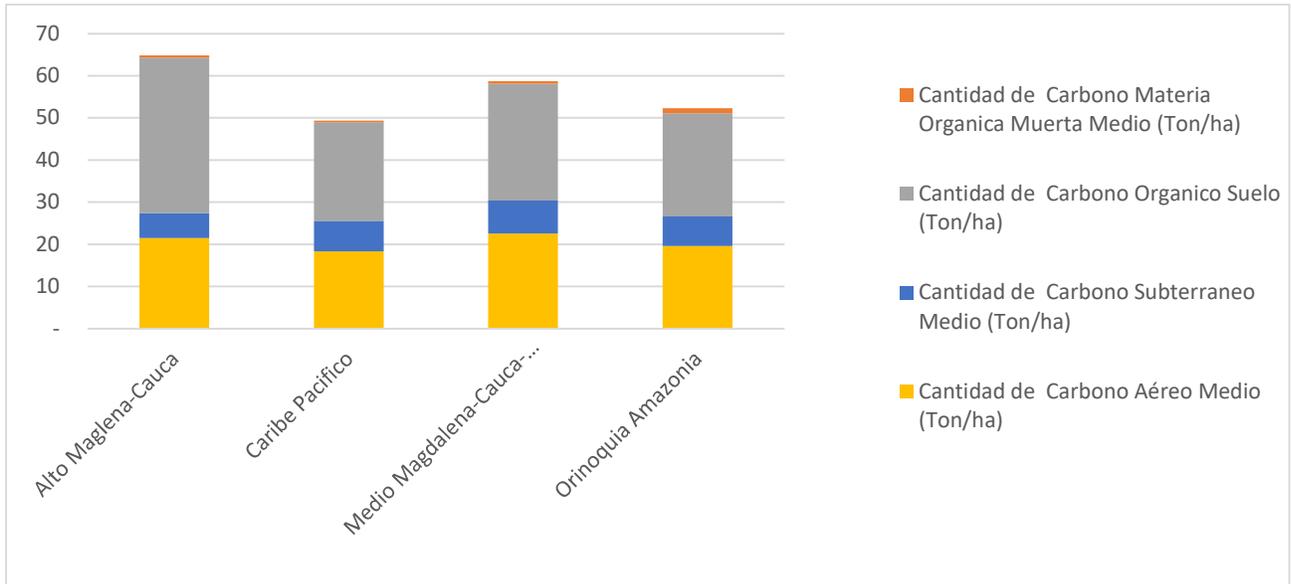
Figura 16 Distribución potencial de carbono por depósito y Región ANLA



Fuente: Instrumentos SIPTA

En promedio en una hectárea de un proyecto licenciado por ANLA se almacena 56 toneladas de carbono de las cuales el 50% proviene del suelo, 36% de la biomasa aérea, 12% de la biomasa subterránea y 1% de la hojarasca. La Figura 17117 muestra la distribución promedio del valor medio de almacenamiento de carbono en una hectárea por región ANLA.

Figura 1711 Distribución promedio de carbono por depósito en una hectárea tipo Región ANLA



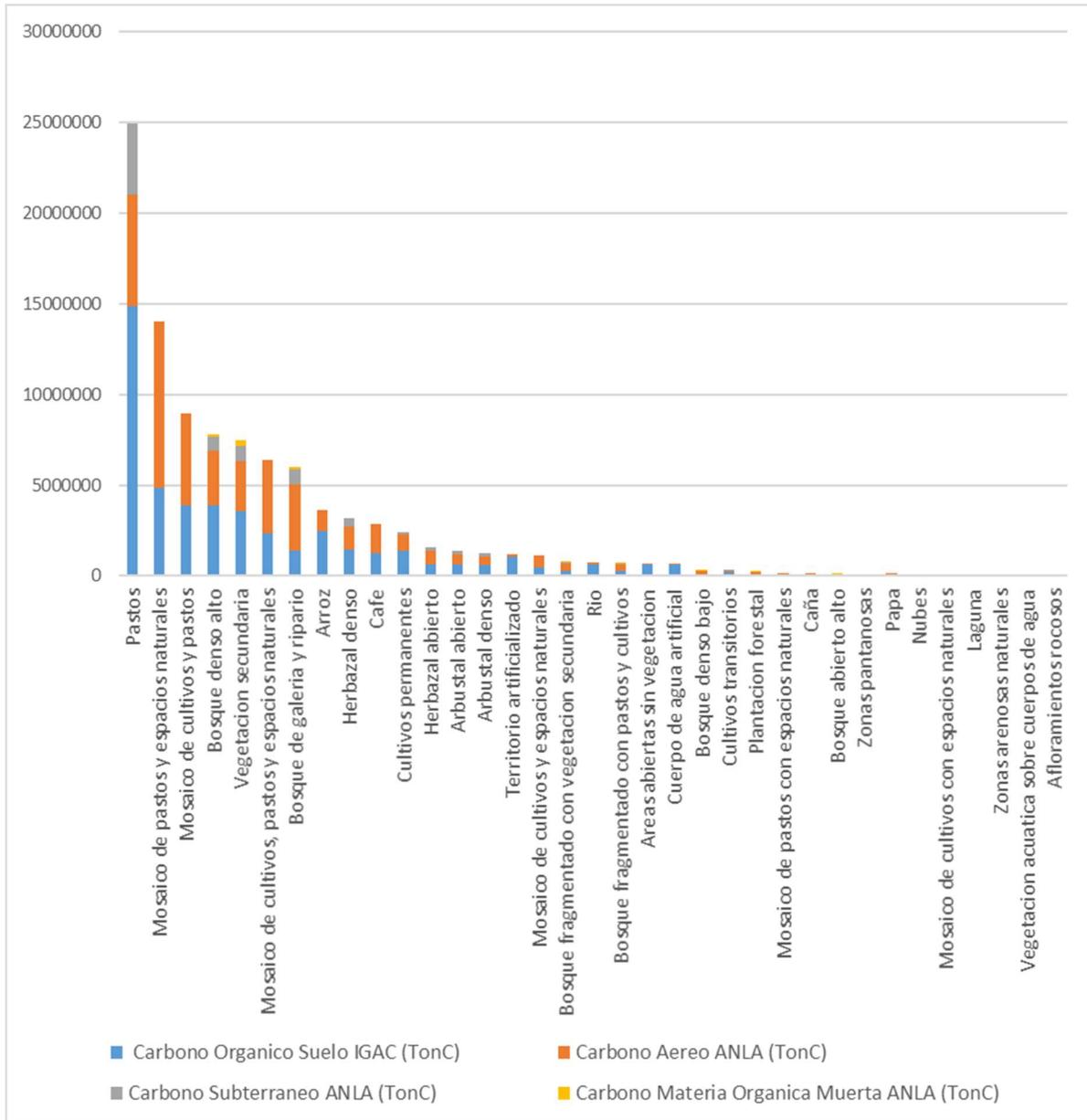
Fuente: Instrumentos SIPTA

4.1 Región Alto Magdalena-Cauca

En la región del Alto Magdalena se evaluaron 234 proyectos licenciados cuyo valor medio de almacenamiento de carbono en 1'291.521 ha, reportó un potencial de 98.979.379 TonC \pm 31%. Pastos es la principal cobertura con potencial de almacenamiento y muestra un valor 24.916.878,79 TonC seguido por Mosaicos de pastos y espacios naturales con 14.006.945,0 TonC 1 y Bosque denso alto con 7.793.486,25 TonC. Cabe anotar que, dentro de las áreas licenciadas, la cobertura más representativa en términos de área es la de pastos, lo que se refleja en su potencial como sumidero a pesar de su bajo contenido de carbono relativo con otras coberturas como Tierras Forestales o Tierras de cultivo.

Dentro de la cobertura de pastos, se evidencia que su mayor potencial de captura se encuentra en el depósito de suelo (14.848.813,45) y en biomasa subterránea (3.895.679,02). Esta situación contrasta con la cobertura boscosa, donde en el caso de bosques riparios y galería el sumidero de carbono aéreo tiene el mayor potencial de almacenamiento (Figura 8).

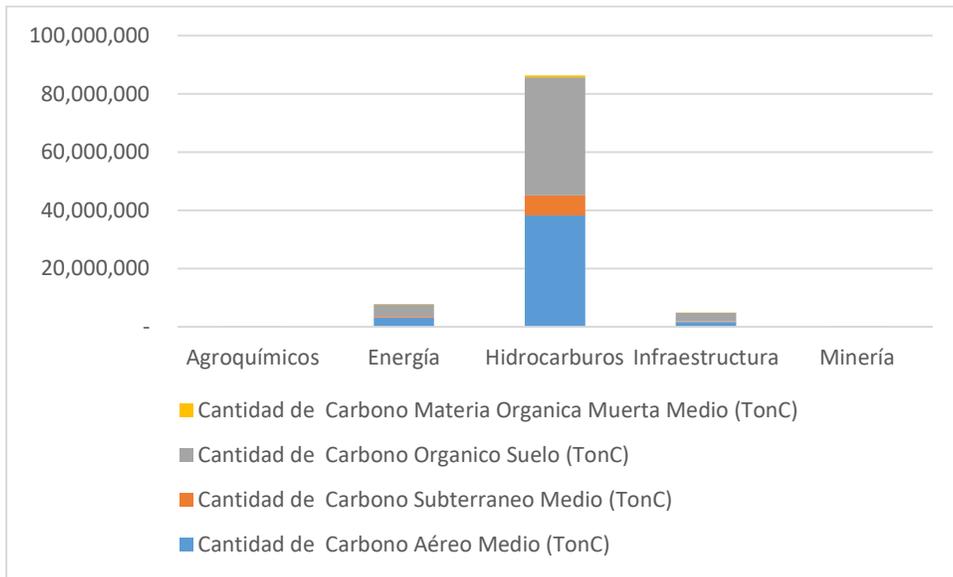
Figura 18 Contenidos de carbono en los 4 sumideros por cobertura Región Alto Magdalena-Cauca



Fuente: Instrumentos SIPTA

Dentro de esta región se tienen proyectos de los 5 sectores, siendo hidrocarburos el que tiene la mayor cantidad de área y contenido de carbono dado sus coberturas. El depósito de carbono en el suelo es el más representativo para este sector y para toda la región. La figura 19 presenta los resultados por sector

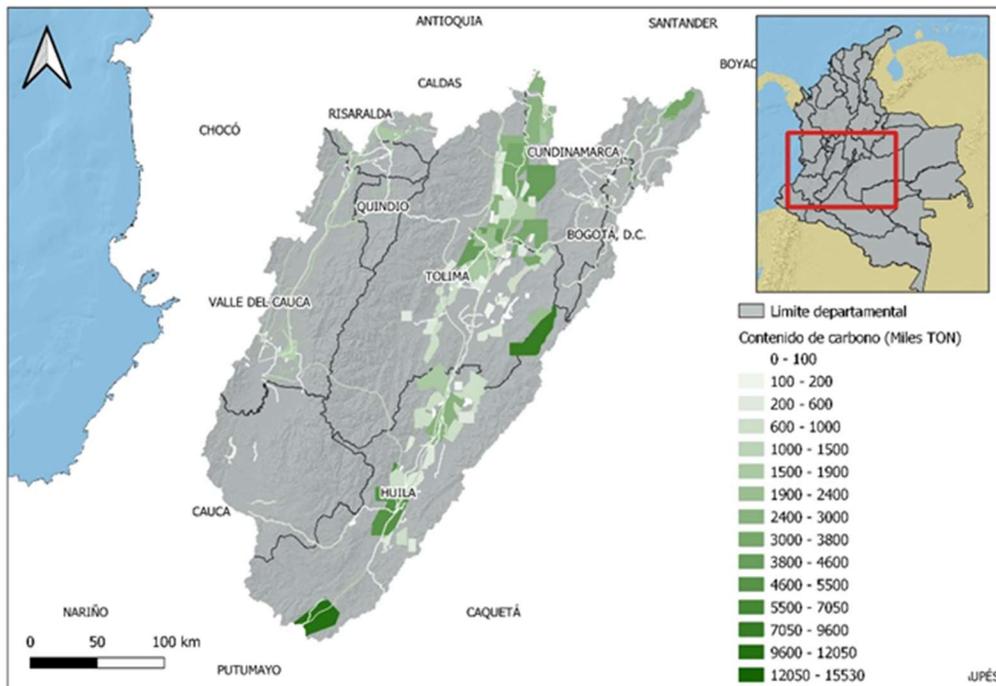
Figura 19 Contenidos de carbono en las 4 depósitos por sectores Región Alto Magdalena-Cauca



Fuente: : Instrumentos SIPTA

En cuanto a la distribución espacial de los sumideros de carbono, están directamente relacionados con el valle alto del Río Magdalena, donde se concentran la mayoría de los proyectos que ocupan mayores áreas licenciadas.

Figura 20 Contenidos de carbono por expediente en la región del Alto Magdalena



Fuente: Instrumentos SIPTA

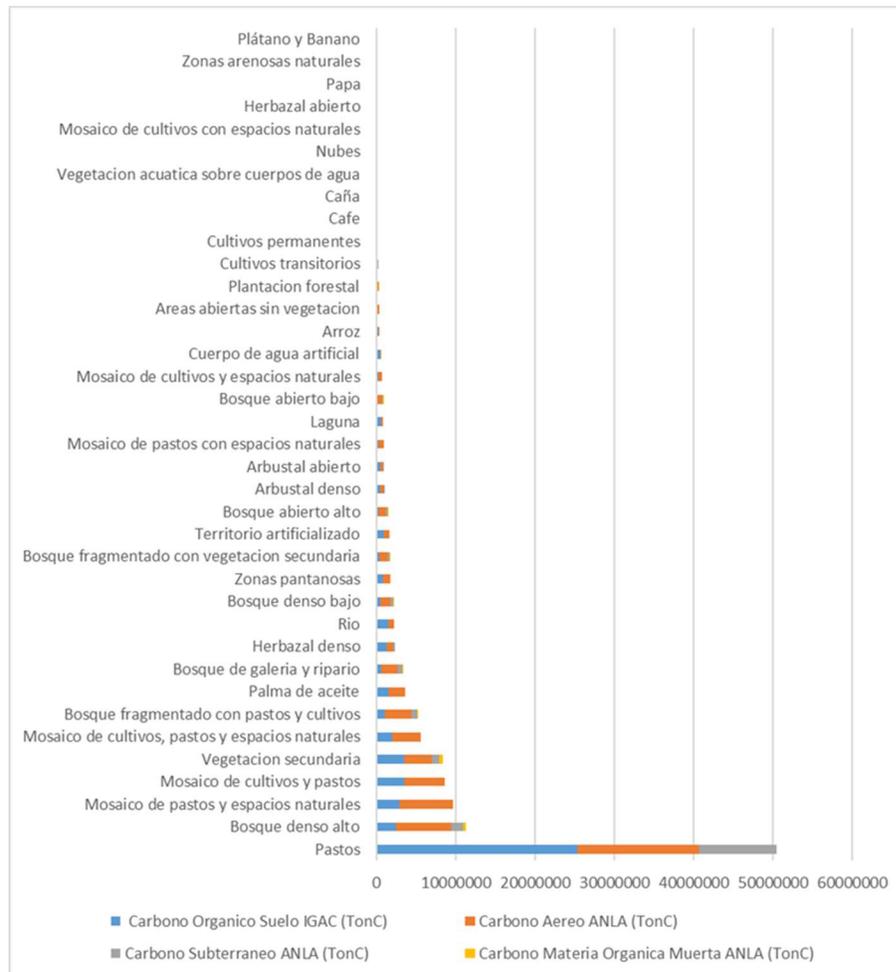
4.2 Región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo

Con un total de 302 expedientes la región del Medio Magdalena-Cauca Catatumbo presenta un área licenciada de 1.912.253,159 ha con un potencial de captura de carbono de 127.715.222 TonC \pm 31%.

En esta región se cuenta con 35 coberturas de la tierra siendo la más representativa dentro las áreas licenciadas, las coberturas de Pastos con un total de 979.181,12 ha y con un potencial de carbono de 50.469.506 TonC, seguida por Bosque denso y Mosaico de pastos y espacios naturales (11.319.881,29 y 9.732.168,65 respectivamente).

De igual manera, la distribución del carbono en los cuatro sumideros para cada cobertura muestra una tendencia similar a la región de Alto-Magdalena donde la cobertura de pastos cuenta con la mayor área dentro de las zonas licenciadas, sin embargo, dentro de esta región el valor para el sumidero de carbono biomasa subterránea es mayor que el reportado para el sumidero en suelo. Con respecto al carbono capturado en biomasa aérea, los mosaicos en general presentan un mayor potencial de almacenamiento respecto a las otras coberturas presentes en esta región. (Figura 21121)

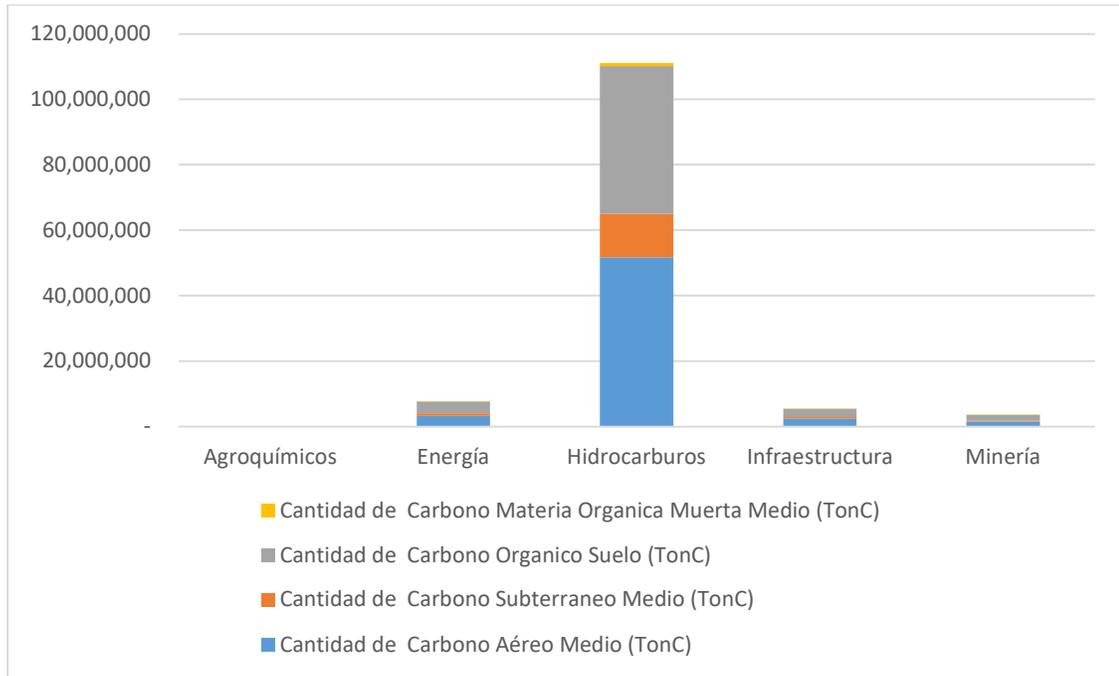
Figura 2112 Contenido de carbono en 4 sumideros por cobertura Región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo



Fuente: Instrumentos SIPTA

Con respecto a los sectores dentro de la región del Medio Magdalena y Catatumbo, el mayor potencial captura de carbono se mantiene en el sector de hidrocarburos, ya que este posee las mayores áreas licenciadas. El resultado en esta región para el sumidero de carbono aéreo es mayor que la región del Alto Magdalena, mostrando que los cambios generados de manera superficial en el uso y cobertura del suelo tienen un mayor impacto en el balance de carbono en la zona (Figura 2).

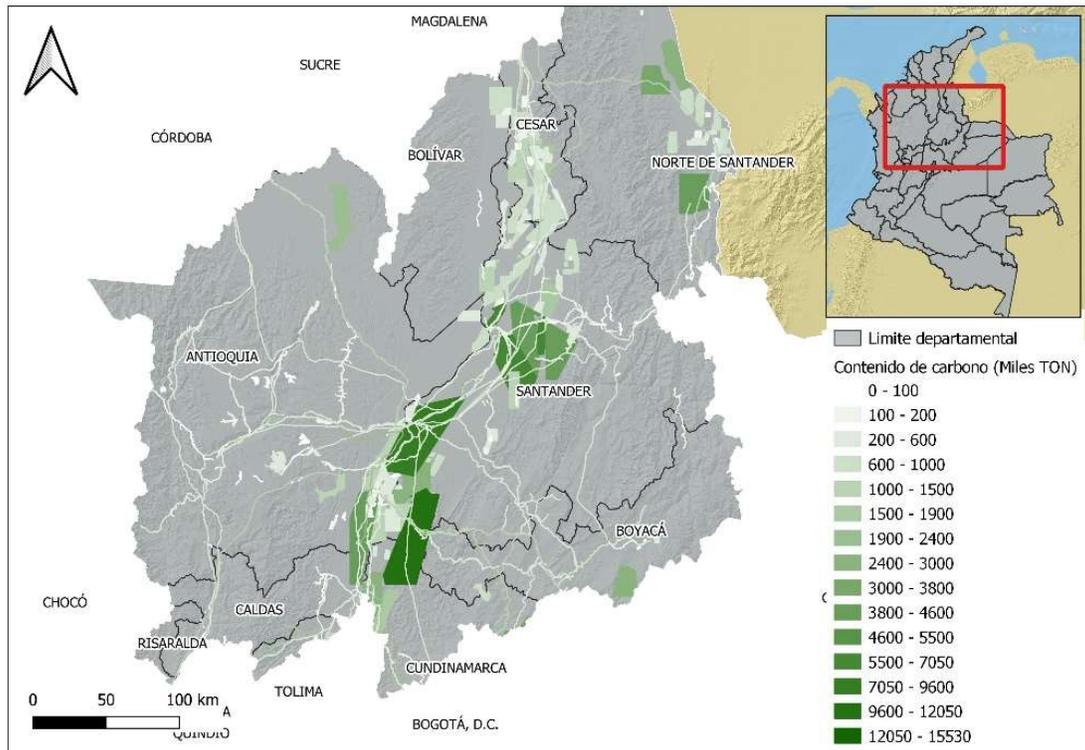
Figura 22 Contenidos de carbono en los 4 depósitos por sectores Región Medio Magdalena-Cauca Catatumbo



Fuente: Instrumentos SIPTA

A nivel de distribución espacial dentro de la zona, los proyectos licenciados se concentran en el valle medio del Magdalena con incidencias en el departamento del Norte de Santander. Al ser un área altamente intervenida, el análisis de balance de carbono se concentra en la pérdida de biomasa en coberturas vegetales boscosas, sin embargo, para tener un contexto regional más claro es necesario analizar la pérdida de coberturas vegetales en todo tipo (Figura 3).

Figura 23 Contenidos de carbono por expediente en la región del Medio Magdalena Catatumbo



Fuente: Instrumentos SIPTA

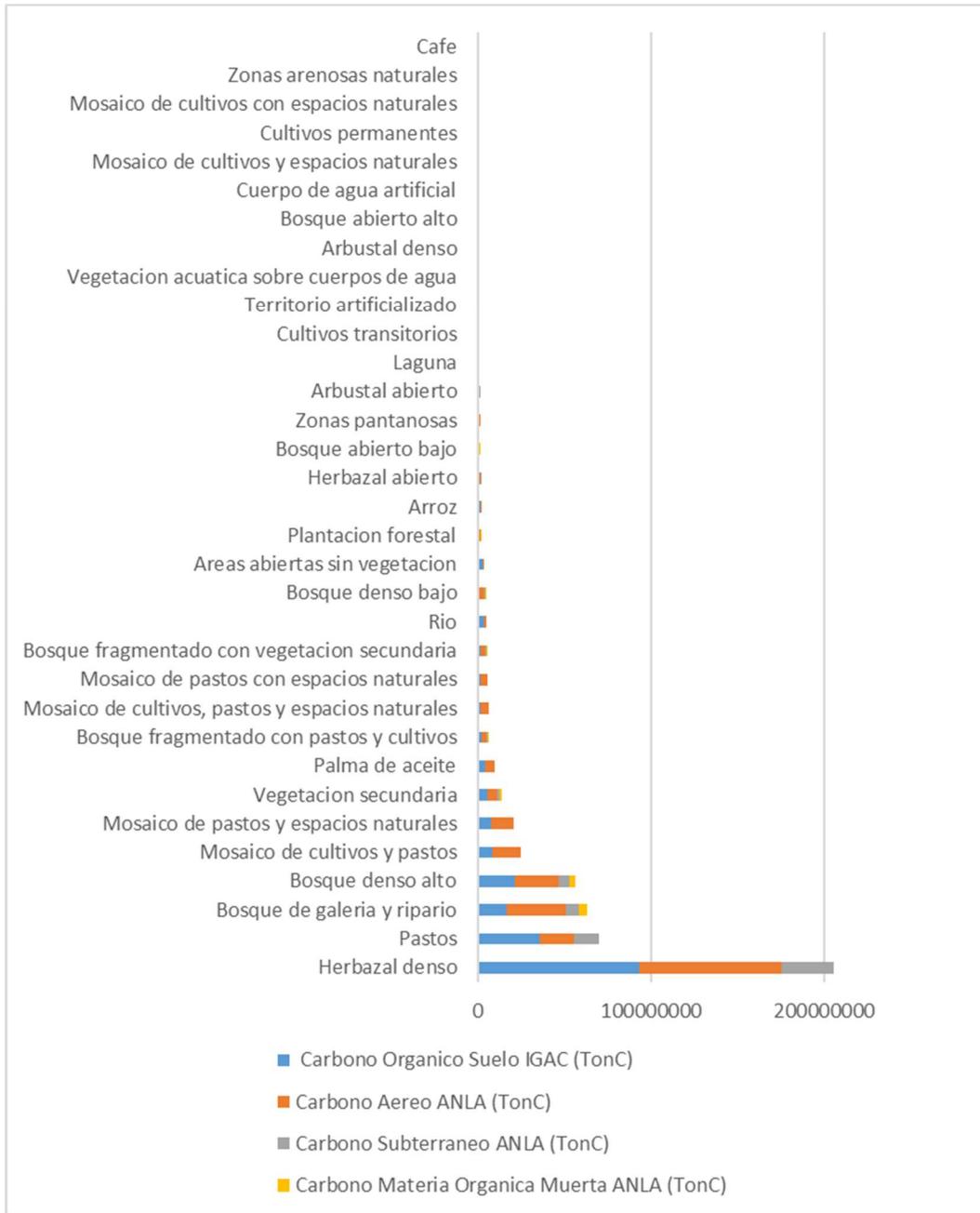
4.3 Región Orinoquia-Amazonas

La región de Orinoquía – Amazonas contiene 472 expedientes, haciendo de esta, la región con mayor número de proyectos en ANLA con un total de 8.825.947,55 ha y un potencial de captura de carbono 513.979.315 tonC con una confianza de $\pm 33\%$.

En esta región se presentan un total de 33 coberturas siendo Herbazal denso la cobertura que sobresale por su extensión en área y en cantidad potencial de carbono con un contenido medio de 205.100.052,6 TonC seguido por Pastos y Bosque de galería (69.762.554,5 y 63.059.241,34 respectivamente)

En cuanto a la distribución de carbono en los diferentes sumideros, se observa que en la cobertura de Bosque de galería presenta los valores más altos por hectárea en especial en el sumidero de biomasa aérea. De igual forma la cobertura de Bosque denso también presenta cantidades importantes en el sumidero de carbono aéreo y subterráneo. En cuanto al Herbazal denso, esta cobertura posee una distribución equilibrada en los sumideros aéreo, subterráneo y suelo (Figura 4).

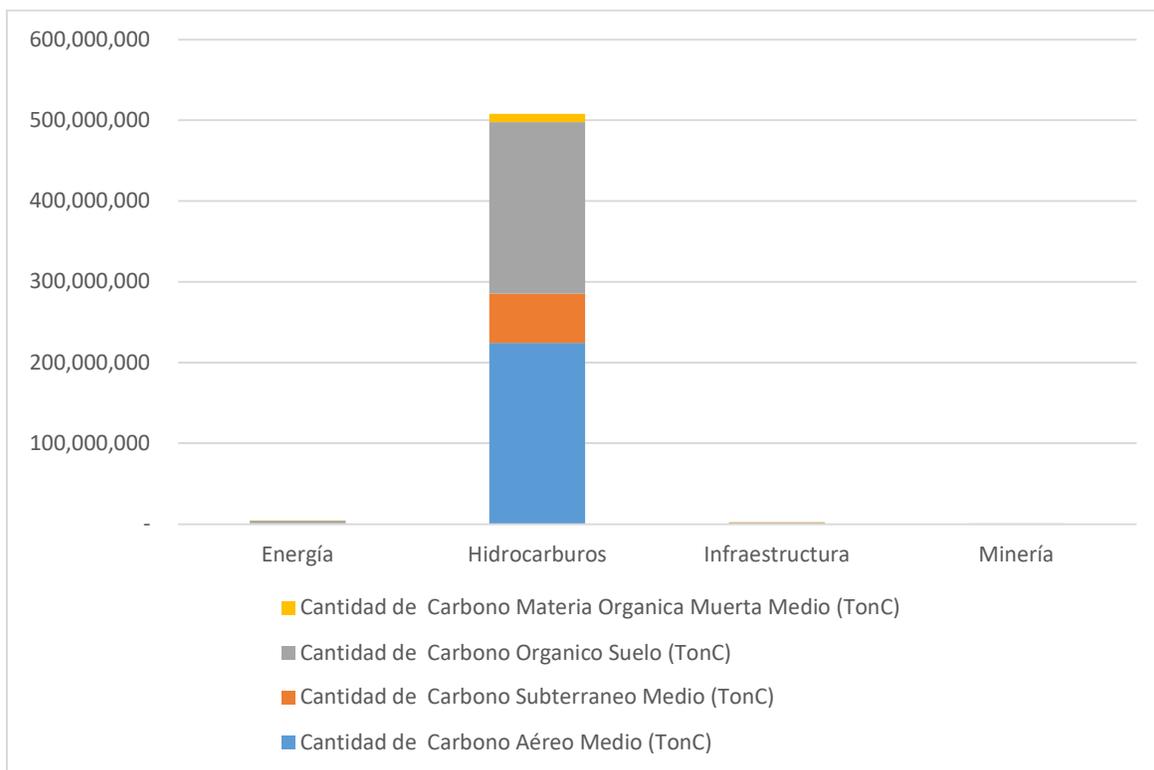
Figura 24 Contenido de carbono en 4 sumideros por cobertura Región Orinoquia-Amazonas



Fuente: Instrumentos SIPTA

En cuanto a la distribución de carbono por sectores, en esta región no hay proyectos de Agroquímicos y el sector de hidrocarburos sigue siendo el que tiene mayor área. La distribución dentro de los sumideros es relativamente equitativa entre los sumideros aéreos y suelo orgánico. Al ser la región orientada al sector de hidrocarburos, el resto de los sectores presentan cantidades menos representativas de carbono (Figura 5).

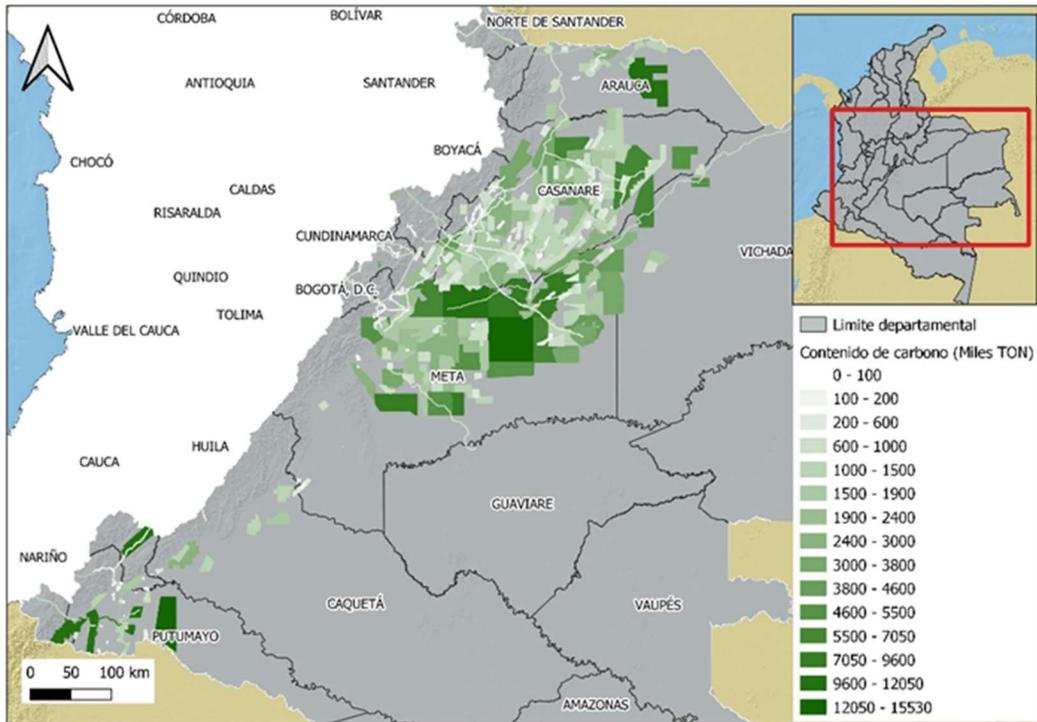
Figura 25 Contenidos de carbono en los 4 depósitos por sector Región Orinoquia-Amazonas



Fuente: Instrumentos SIPTA

En cuanto a la distribución geográfica, la mayoría de los proyectos se encuentran localizados entre los departamentos del Meta y Casanare. Sin embargo, destacan áreas licenciadas con potencial de captura en los departamentos de Arauca y Putumayo (Figura 26).

Figura 26 Contenidos de carbono por expediente en la región del Orinoquia – Amazonas



Fuente: Instrumentos SIPTA

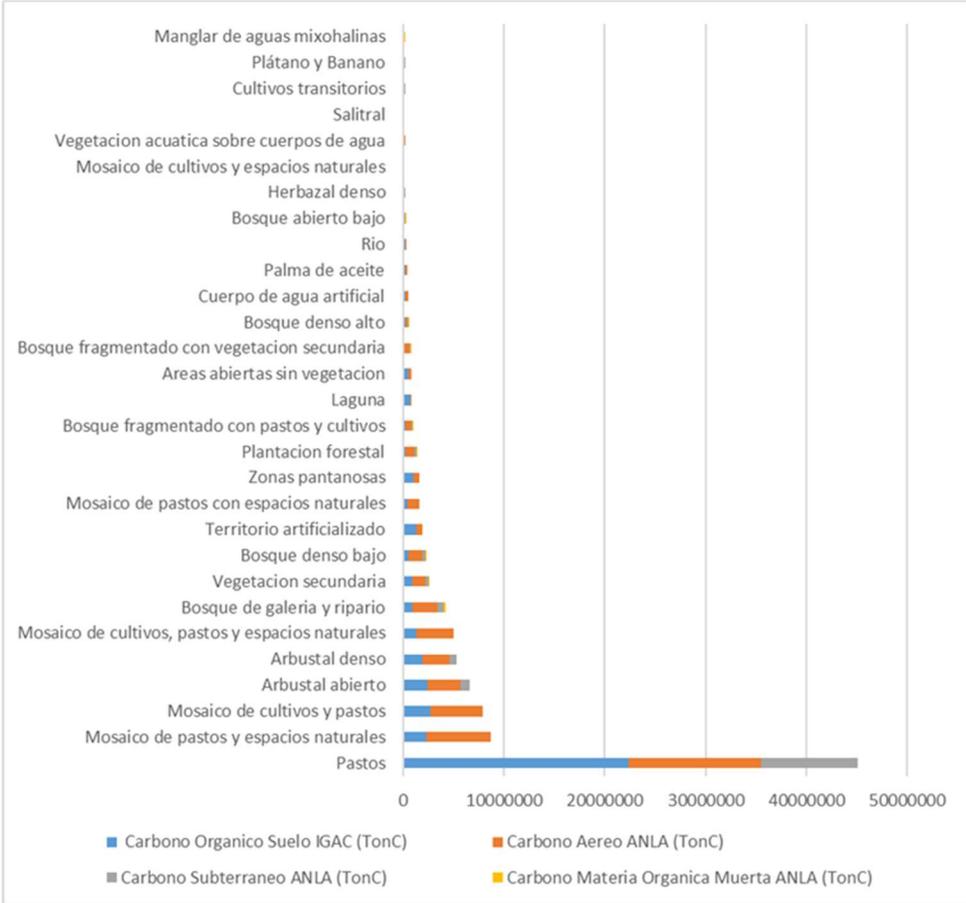
4.4 Región Caribe Pacífico

En la región del Bajo Magdalena Caribe Pacífico se encuentran licenciados 285 proyectos, los cuales abarcan un área total de 1.802.115,997 hectáreas y un potencial de captura de carbono de 102.829.258 toneladas con una confianza de $\pm 35\%$.

Dentro de esta región se encuentran un total de 49 coberturas en las áreas licenciadas. Al ser una región extensa que abarca diferentes tipos de ecosistemas, la representación de coberturas varía considerablemente. La cobertura con mayor potencial de sumideros de carbono es el Pasto con un contenido medio de 45.119.532,61 TonC, seguido por Mosaico de pastos y espacios naturales y Mosaico de cultivos y pastos con contenidos medios de 8.705.602,919 y 7.960.889,459 TonC respectivamente. Esta distribución refleja el alto grado de intervención de este territorio, en especial en la subregión Caribe.

En cuanto a la distribución de sumideros en cada cobertura, pastos encuentra la mayoría de su contenido potencial de carbono dentro del depósito de suelo orgánico, seguido por sumidero biomasa subterráneo. La segunda cobertura más representativa en términos de carbono es la de Mosaico de pastos y espacios naturales, donde el sumidero de carbono aéreo contiene la mayoría del contenido potencial (Figura 7).

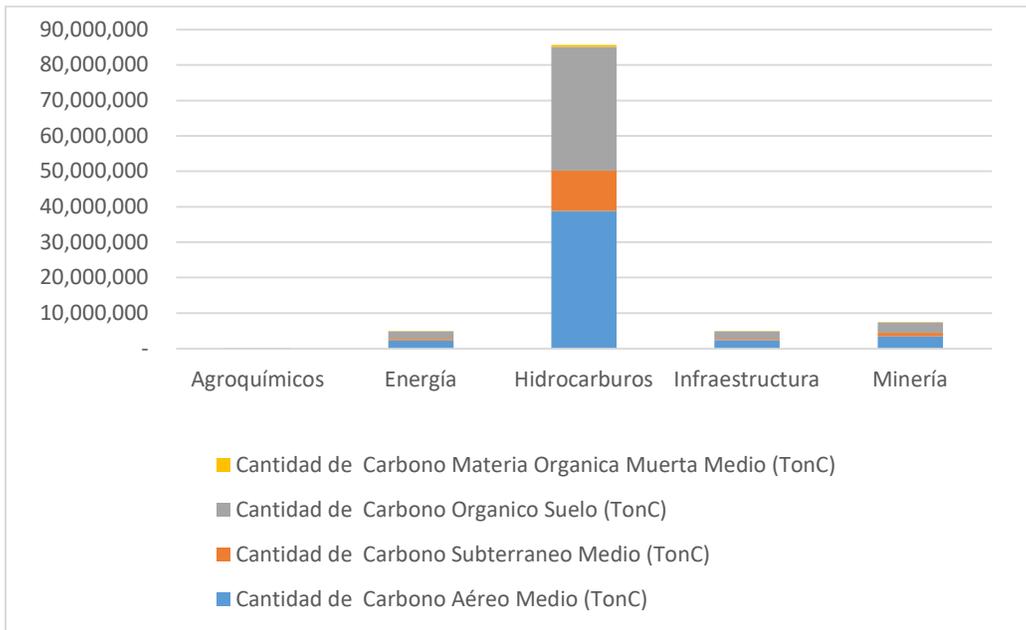
Figura 27 Contenido de carbono en los 4 sumideros por cobertura en Región Caribe Pacífico



Fuente: Instrumentos SIPTA

En cuanto a la distribución de sumideros en cada uno de los sectores presentes en la región los depósitos con mayor contenido potencial de carbono son suelo orgánico y carbono aéreo en el sector con mayor área, el de hidrocarburos (Figura 8).

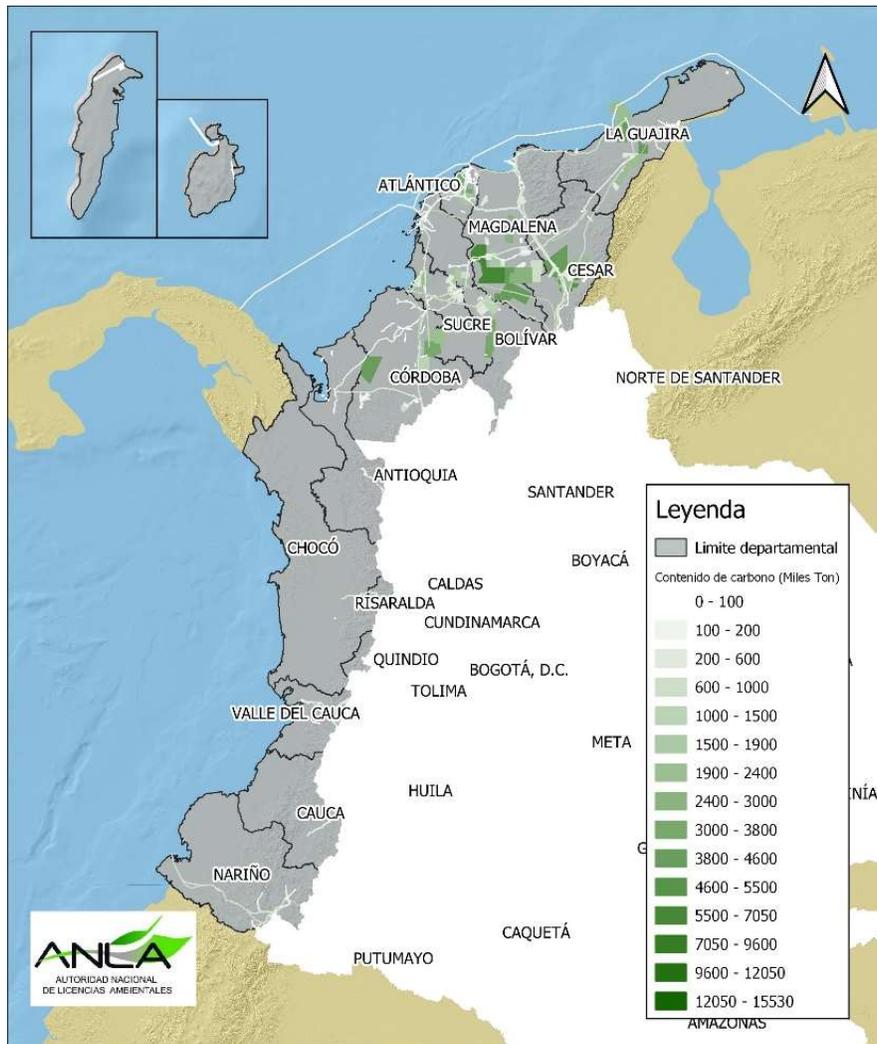
Figura 28 Contenidos de carbono en los 4 depósitos por sector



Fuente: Instrumentos SIPTA

En cuanto a la distribución geográfica, la mayoría de los proyectos se encuentra ubicados en la región del Caribe, específicamente en los departamentos de César y Magdalena. En la región del Pacífico, no hay una gran cantidad de proyectos por lo que su participación en los sumideros de carbono de la ANLA es relativamente baja, al igual que en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (Figura 9). Sin embargo, al ser una de las subregiones menos intervenidas, el potencial de carbono es mayor lo que la hace de importancia para el balance de carbono nacional.

Figura 29 Contenidos de carbono por expediente en la región del Bajo Magdalena Caribe y Pacífico

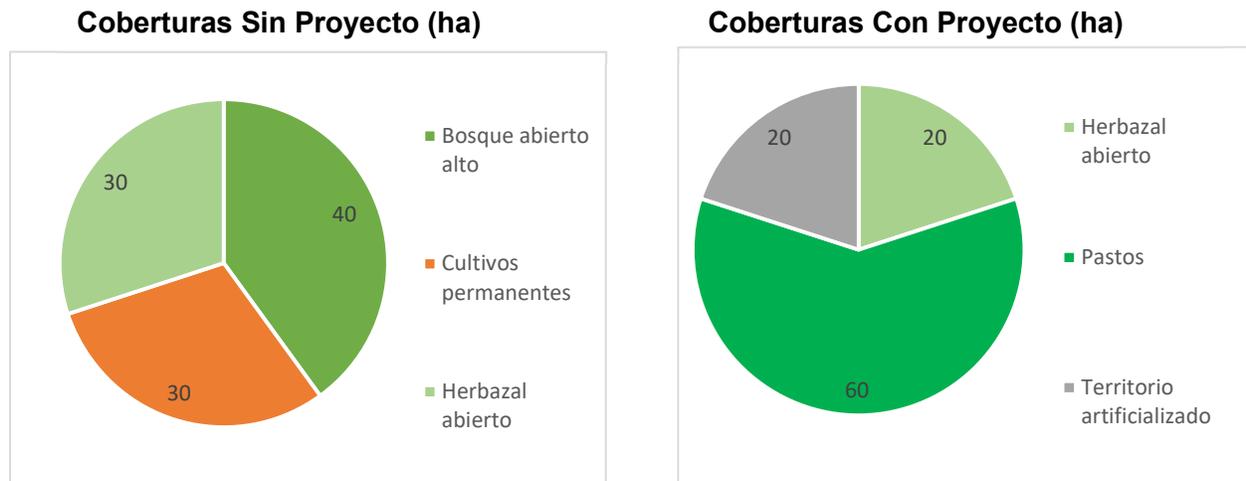


Fuente: Instrumentos SIPTA

5 Ejercicio hipotético para el uso del instrumento en el marco del licenciamiento ambiental

A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación del instrumento de “Valores de Referencia de Potencial de Carbono Almacenado en áreas licenciadas por ANLA” para la evaluación de un proyecto hipotético. Un área de 100 ha 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 dados la zonificación ambiental del proyecto. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la situación Sin proyecto y Con proyecto en el área potencial del proyecto. Dado que el impacto es significativo el evaluador ANLA debería realizarse la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las emisiones potenciales de Gases Efecto Invernadero por el cambio en coberturas?

Figura 30 Coberturas del área en evaluación para la incorporación de un proyecto



Fuente: Instrumentos SIPTA

En términos de almacenamiento de carbono el área Sin proyecto presenta un potencial de 8.316 tonC \pm 21% representada en un 48% por biomasa aérea, 37% por el carbono orgánico del suelo, 13% por biomasa subterránea y 2% por la hojarasca. Si el proyecto se efectúa, la composición cambia y el nuevo potencial de almacenamiento de la misma área será de 4.134 tonC \pm 31%. El cambio proyectado o Delta ambiental de la situación Sin proyecto a la situación Con Proyecto sería de -4.182 tonC \pm 13% 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. La tabla 2 presenta los factores de almacenamiento de carbono usados para cada cobertura y la tabla 3 los resultados por depósito.

Tabla 2 Factores de almacenamiento de carbono e incertidumbres usados en el ejemplo

Proyecto	Cobertura Corine Land Cover (IDEAM)	Area (ha)	Carbono Organico Suelo IGAC (TonC/ha)	Incertidumbre Suelo +/-	Carbono Aereo ANLA (TonC/ha)	% Incertidumbre Carbono Aereo	Carbono Subterraneo o ANLA (TonC/ha)	% Incertidumbre Carbono Subterraneo	Carbono Materia Organica Muerta ANLA (TonC/ha)
Sin Proyecto	Bosque abierto alto	40	28	11	72	0,12	18	0,12	3,3
Sin Proyecto	Cultivos permanentes	30	35	12	23	0,21	5	0,21	
Sin Proyecto	Herbazal abierto	30	32	11	14	0,08	7	0,08	
Con Proyecto	Territorio artificializado	20	-	11	-	0,12	-	-	-
Con Proyecto	Pastos	60	35	12	7	0,08	10	0,08	
Con Proyecto	Herbazal abierto	20	32	11	14	0,08	7	0,08	

Fuente: Instrumentos SIPTA

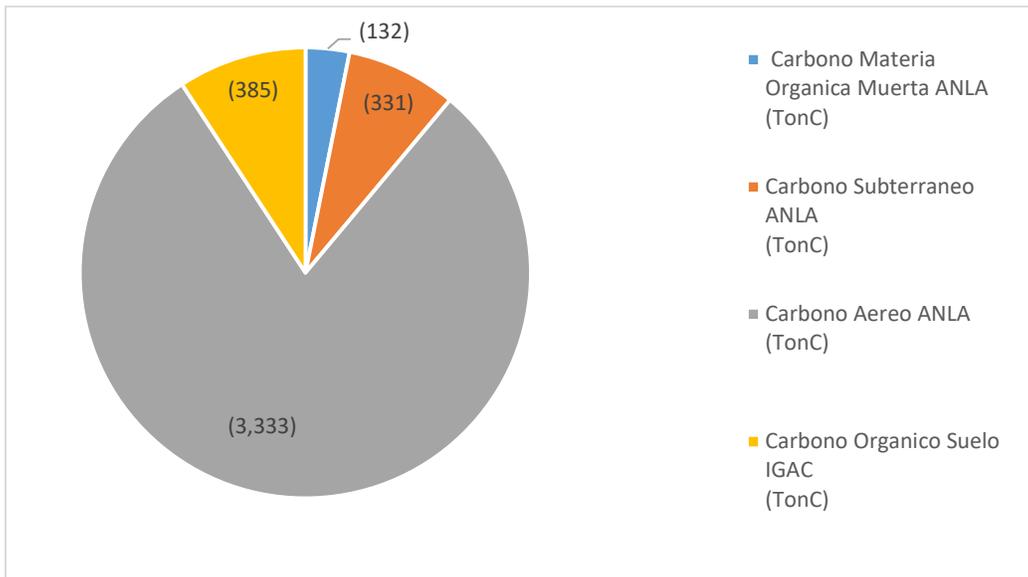
Tabla 3 Resultados en la situación sin proyecto y con proyecto

Proyecto	Cobertura Corine Land Cover (IDEAM)	TOTAL MEDIA Carbono Organico Suelo IGAC (TonC)	TOTAL MEDIA Carbono Aereo ANLA (TonC)	TOTAL MEDIA Carbono Subterraneo o ANLA (TonC)	TOTAL MEDIA Carbono Materia Organica Muerta ANLA (TonC)	TOTAL MEDIA Carbono ANLA (TonC)	TOTAL MEDIA CO ₂ eq ANLA (TonCO ₂ eq)
Sin Proyecto	Bosque abierto alto	1.110	2.895	700	132	4.837	17.736
Sin Proyecto	Cultivos permanentes	1.043	688	161	-	1.893	6.941
Sin Proyecto	Herbazal abierto	956	420	210	-	1.586	5.817
Con Proyecto	Territorio artificializado	-	-	-	-	-	-
Con Proyecto	Pastos	2.087	390	600	-	3.077	11.281
Con Proyecto	Herbazal abierto	638	280	140	-	1.058	3.878

Fuente: Instrumentos SIPTA

En términos generales la biomasa aérea del área presenta el mayor potencial de pérdida de carbono con alrededor del 80% del cambio. El carbono del suelo y la biomasa subterránea representa el 9% y 8% respectivamente de la potencial emisión y la materia orgánica muerta, cuyo depósito se proyecta eliminar completamente abarca el 3%. La Figura 31 presenta el cambio en el potencial por depósito de carbono.

Figura 31 Cambio potencial en el almacenamiento de Carbono dado el cambio de coberturas del proyecto



Fuente: Instrumentos SIPTA

Finalmente, para el análisis de cambio climático es importante convertir las toneladas de carbono C a toneladas equivalentes de CO_{2eq} para así mirar el potencial de calentamiento global que estas emisiones pueden tener en el inventario de emisiones de GEI. Con lo anterior las 4.182 tonC \pm 13% representan un potencial de 15.335 ton CO_{2eq} \pm 13% las cuales valoradas económicamente con un precio del impuesto al carbono de \$20.000 por tonelada de CO₂ emitido plantea un costo ambiental potencial aproximado de 307 millones de pesos.

6 Conclusiones

- Los 1209 proyectos ANLA evaluados en el documento presentaron un valor potencial de almacenamiento de 843.5 millones de toneladas de carbono \pm 33%. Bajo los supuestos indicados esta cifra representa un potencial de alrededor de 3 millones de Gigagramos de CO_{2eq} valor cercano a las emisiones reportadas por Colombia durante 12 años.
- En promedio una hectárea de área asociada a un proyecto licenciado por ANLA almacena 56 toneladas de carbono de las cuales el 50% proviene del suelo, 36% de la biomasa aérea, 12% de la biomasa subterránea y 1% de la hojarasca.
- Las áreas donde se emplazan los proyectos de sector de Hidrocarburos, subsectores, Exploración / Explotación y Transporte y Conducción presentan el mayor potencial de almacenamiento de carbono en ANLA.
- El subsector con mayor promedio por hectárea de potencial de carbono almacenado es Proyectos Car y el de menor promedio es Puertos, cabe anotar que en este documento no se tuvieron en cuenta las cifras de carbono oceánico.
- La cobertura con la mayor cantidad de carbono almacenado para los proyectos ANLA es Herbazal Denso dada su extensión en la región Orinoco-Amazonas. Pastos y Bosques de galería Ripario, le siguen en representatividad de potencial de carbono almacenado. Playas y la cobertura de

Sedimentos Expuestos presentan los menores contenidos de carbono dado sus bajas áreas licenciadas.

- Las coberturas con los mayores valores promedios de carbono por hectárea son Manglar de aguas marinas y Plantación forestal. Playas y Canales son las coberturas con el menor valor promedio de carbono almacenado por hectárea.
- A nivel de regiones, Orinoco-Amazonas presenta el mayor potencial de captura de carbono por las coberturas presentes en el área. Por ello, la liberación de carbono por procesos de cambio de coberturas se considera relevante en el momento de la evaluación de un proyecto en esta zona.
- En las regiones Alto Magdalena-Cauca, Medio Magdalena- Cauca Catatumbo y Caribe-Pacífico el mayor potencial de almacenamiento de carbono se relaciona con sistemas agropecuarios y sus coberturas.
- 34 Expedientes del sector de hidrocarburos, subsector Exploración/ Explotación componen alrededor del 30% de potencial de carbono almacenado en áreas licenciadas por la ANLA

Bibliografía

Cairns, M. A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. . *Oecologia* , 111(1), 1–11. doi:10.1007/s004420050201.

Celleri. (2010). Estado del Conocimiento científico sobre los servicios ambientales hidrológicos en la región Andina. *Instituto de Estudios Peruanos*, 25-46.

IDEAM, MADS & PNUD. 2012. Reducción del riesgo y de la vulnerabilidad frente al cambio climático en la región de la depresión Momposina en Colombia.

IDEAM 2012. Catálogo de patrones de coberturas de la tierra Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (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>

IPCC. 2018. Emission factor database-EFDB. Obtenido de: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?ipcc_code=3.B.2.a&ipcc_level=3

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., and Douglass, J. 2018. InVEST 3.7.0.post17+ug.hbeb7e1912b14 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

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>,

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

Mogas J. & P. Riera Mical, A. (2005). El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación. *Bol. Económica ICE Inf. Esp*, 13-28.

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 Referencia de leyenda y estratificación de coberturas de la tierra usada para el análisis del servicio de regulación climática en zonas licenciadas de ANLA.

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		Río
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 poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Afloramientos rocosos
Otras Tierras	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas abiertas sin o poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Áreas abiertas sin vegetación
Otras Tierras	Áreas Naturales y seminaturales	Áreas abiertas sin o poca vegetación	Otras áreas sin vegetación	Playas

IPCC	Cobertura CLC Nivel I	Cobertura CLC Nivel II	Cobertura CLC Nivel III	Cobertura CLC Nivel IV
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		Cafe
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
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

IPCC	Cobertura CLC Nivel I	Cobertura CLC Nivel II	Cobertura CLC Nivel III	Cobertura CLC Nivel IV
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

Anexo 2. Base de datos completa de carbono almacenado por expediente ANLA en archivo Excel.