



Capítulo 8.

Estimación del almacenamiento de carbono y emisiones potenciales de CO₂ por deforestación en el departamento del Cesar, Colombia

Alexander Salazar Montoya

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0504-6679>

Belky Josefina Rodríguez Zuleta

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0688-7867>

Gloria María Restrepo Franco

Universidad de Manizales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0443-0369>

Esteban Álvarez Dávila

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9032-0099>

Resumen

La estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques naturales es un aspecto importante para valorar los bienes y servicios ambientales generados en el departamento del Cesar, y definir estrategias de conservación y manejo sostenible de estos ecosistemas. El Cesar posee una gran riqueza de ecosistemas y zonas de vida, que le brindan un potencial ambiental para un desarrollo agropecuario, económico y social sostenible. No obstante, hay pocos estudios sobre la estructura y la diversidad de sus bosques, que permitan conocer y valorar los servicios ambientales asociados.

El propósito de este trabajo es estimar el contenido de carbono en la biomasa aérea de los bosques naturales del Cesar y las emisiones potenciales de CO_2 por deforestación. Para esto, se utilizó la siguiente metodología: 1) se elaboró un mapa de carbono de la vegetación del departamento con base en un mapa de cobertura vegetal y usos del suelo del 2000, y se usaron 177 parcelas de vegetación con áreas entre 0,1 y 0,3 ha para estimar el carbono en la biomasa mediante ecuaciones alométricas; 2) se estimaron las tasas de deforestación a partir de mapas globales disponibles en la red, y 3) se estimaron las emisiones de CO_2 para el período 2000-2013 multiplicando el contenido de carbono en el área deforestada por un factor de 3,61, de acuerdo con las recomendaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

A partir del mapa de cobertura vegetal, se concluyó que el departamento del Cesar posee un área de 1 098 701 hectáreas de bosques y otros tipos de vegetación (bosques secundarios, vegetación de páramo, arbustales, etcétera) que almacenaron 346 762 256 toneladas de CO_2 . La deforestación promedio anual fue de 7076 hectáreas entre el 2001 y el 2013, con una pérdida acumulada de área boscosa de 84 923 hectáreas, y generó 98 365 651,93 toneladas de CO_2 en el departamento.

Palabras clave: biomasa aérea, bosques tropicales, cambio climático, ecuaciones alométricas, gases de efecto invernadero

Abstract

The estimation of the carbon stored in the aerial biomass of natural forests is an important aspect to value the environmental goods and services generated in the department of Cesar, and to define strategies for the conservation and sustainable management of these ecosystems. Cesar has a wealth of ecosystems and life zones, which offer environmental potential for sustainable agricultural, economic and social development. However, there are few studies on the structure and diversity of its forests, which allow us to know and value the associated environmental services.

This work aims to estimate the carbon content in the aerial biomass of the natural forests of Cesar and the potential CO_2 emissions from deforestation. For this, the following methodology was used: 1) a vegetation carbon map of the department was elaborated based on a vegetation cover and land use map of 2000, and 177 vegetation plots with areas between 0.1 and 0.3 ha were used to estimate carbon in biomass using allometric equations; 2) deforestation rates were estimated from global maps available on the web, and 3) CO_2 emissions for the period 2000-2013 were estimated by multiplying the carbon content in the deforested area by a factor of 3.61, according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) recommendations.

Based on the vegetation cover map, it was concluded that the department of Cesar has an area of 1 098 701 hectares of forests and other vegetation types (secondary forests, paramo vegetation, shrublands, etc.) that stored 346 762 256 tonnes of CO₂. The average annual deforestation was 7076 hectares between 2001 and 2013, with a cumulative loss of forest area of 84 923 hectares, and generated 98 365 651.93 tonnes of CO₂ in the department.

Keywords: aerial biomass, tropical forests, climate change, allometric equations, greenhouse gases

Introducción

En los últimos años, la deforestación y el crecimiento de la vegetación secundaria han hecho que los bosques se conviertan tanto en fuentes como en sumideros de dióxido de carbono (CO₂) (Zarin et al., 2016). La pérdida de bosques tropicales representó más del 90 % de la deforestación mundial en el periodo 2000-2018, con 157 millones de ha, lo que equivale al tamaño de Europa occidental aproximadamente. Sin embargo, la deforestación anual en el trópico disminuyó significativamente, pasando de 10,1 millones de ha al año en el periodo 2000-2010 a 7 millones de ha al año en el periodo 2010-2018 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020).

Entre el 2005 y el 2010, la zona Caribe colombiana tenía 1 807 073 hectáreas de bosque, con una deforestación anual de 40 018 hectáreas, que corresponden a un porcentaje de pérdida media anual de 2,21 %, siendo la zona con mayor porcentaje de deforestación acumulada del país (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2015). Esta situación de deforestación junto con la degradación del suelo y la escasez y contaminación del agua aumentan la vulnerabilidad de la zona rural al cambio climático, dado que, en el mejor escenario, se espera un aumento en la temperatura media entre 1 y 1,5 °C, con una disminución en la precipitación entre el 10 y el 40 % en el Caribe y en la Amazonía.

La deforestación en el departamento del Cesar, en Colombia, está relacionada con la ampliación de la frontera pecuaria y agrícola, y el uso de tierras para cultivos ilícitos. Por este motivo y por estar dentro de la zona de mayor deforestación acumulada del país, es necesario evaluar y promover el mantenimiento de servicios ambientales derivados de los bosques naturales, como por ejemplo la capacidad de almacenamiento de carbono (Yepes et al., 2011). La baja presencia institucional para promover el uso adecuado y el cumplimiento normativo, así como el inadecuado desarrollo y aplicación de los planes ordenamiento y de manejo forestal son algunas de las causas principales del problema de la pérdida de bosques en el departamento (Corporación Autónoma Regional del Cesar [Corpocesar], 2013; DNP, 2020).

Este trabajo tiene por objetivo general elaborar un mapa de carbono almacenado en la biomasa y estimar las emisiones de CO₂ por la deforestación en el departamento del Cesar. En particular, se busca responder las siguientes preguntas: i) ¿cuáles son las reservas potenciales de carbono almacenadas en los diferentes tipos de vegetación del departamento? y ii) ¿cuál ha sido la cantidad de CO₂ potencialmente emitida por efecto de la deforestación entre el 2001 y el 2014 en el departamento del Cesar? Con los resultados obtenidos, se espera generar información que sirva para establecer estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en el departamento, y para formular e implementar proyectos de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques (REDD).

Materiales y métodos

Área de estudio

Según el *Plan general de ordenación forestal del departamento del Cesar*, el departamento cuenta con 25 municipios y se encuentra localizado

al nororiente colombiano, limita al norte con el departamento de La Guajira, al occidente con los departamentos de Magdalena y Bolívar, al sur con el departamento de Santander y al occidente con el departamento de Norte de Santander y la República de Venezuela. (Corpocesar, 2013, p. 21)

Análisis

Construcción del mapa de carbono

- *Mapa de cobertura vegetal y usos del suelo*: para determinar las áreas de los diferentes tipos de cobertura del bosque, se tuvieron en cuenta los mapas digitales de cobertura vegetal, zonas de vida y usos del suelo para el Cesar, así como el *Plan general de ordenación forestal del departamento del Cesar*. Se realizó un cruce espacial de las zonas de vida, coberturas naturales y usos del suelo, según información de Corpocesar (2013), con el mapa de ecosistemas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) et al. (2007).
- *Inventarios forestales*: se utilizaron 177 inventarios forestales en parcelas de 0,2 a 0,6 ha, los cuales se realizaron entre el 2003 y el 2005, y se encuentran en las bases de datos de la Red de monitoreo de los bosques de Colombia. Las parcelas

contienen información de árboles con DAP ≥ 5 . Se estimó la altura de cada uno de los individuos y se establecieron en 8 zonas de vida.

- *Estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa:* para la estimación de la biomasa de cada parcela, se usaron ecuaciones alométricas que predicen el peso seco en kg de cada árbol (incluyendo toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, como hojas, fuste y ramas) en función del diámetro del tallo, la densidad de la madera y la altura total (ecuación 1). La densidad de la madera se tomó de la base de datos global de densidad de la madera y se asignó a cada especie, género o familia de acuerdo con métodos recomendados en la literatura (Chave et al., 2009).

$$BA = a + b (D^2 H \ell) \quad (\text{ecuación 1})$$

donde

BA: biomasa o peso seco del árbol (kg)

D: diámetro a la altura del pecho, medido a 1,30 m de altura sobre el suelo (cm)

ℓ : densidad de la madera (g/cm³)

H: altura total del árbol

b: constante del modelo

Se usaron ecuaciones de biomasa para bosques tropicales, algunas desarrolladas por diferentes autores (Álvarez et al., 2012; Lerma y Orjuela, 2014; Sierra et al., 2007) y otras publicadas en artículos científicos. Estas ecuaciones, estimadas para diferentes formas de crecimiento y zonas de vida, se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones alométricas

Zona de vida	Tipo de cobertura	DAP (cm)	Ecuación	Referencia
bh-PM	RA	> 1	$\exp(-2.232 + 2.422 \ln(D))$	Sierra et al. (2007)
bh-PM	RB	> 1	$\exp(-2.232 + 2.422 \ln(D))$	Sierra et al. (2007)
bh-PM	B	> 10	$\exp(1.960 - 1.098 * \ln(DAP) + 1.169 * (\ln(DAP))^2 - 0.122 * (\ln(DAP))^3 + 1.061 * (\ln(Dm)))$	Álvarez et al. (2012)

Zona de vida	Tipo de cobertura	DAP (cm)	Ecuación	Referencia
bh-T	RA	> 1	$\exp(-2.232 + 2.422 \ln(D))$	Sierra et al. (2007)
bh-T	B	> 10	$\exp(2.406 - 1.289 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 0.445 \ln(Dm))$	Álvarez et al. (2012)
bs-PM	RA	>1	$\exp(-1.61878 + 2.10643 \ln(D) + 0.326326 \ln(Dm))$	Álvarez et al. (2012)
bs-PM	B	>10	$\exp(3.652 - 1.697 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 1.285 \ln(Dm))$	Álvarez et al. (2012)
bs-T	PA	>1	$\exp(-1.61878 + 2.10643 \ln(D) + 0.326326 \ln(Dm))$	Álvarez et al. (2012)
bs-T	B	>10	$\exp(3.652 - 1.697 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 1.285 \ln(Dm))$	Álvarez et al. (2012)
bh-MB	B	>10	$\exp(1.836 - 1.255 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 - 0.222 \ln(Dm))$	Álvarez et al. (2012)
bmh-MB	B	>10		
bh-M	B	>10	$\exp(3.130 - 1.536 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 1.767 \ln(Dm))$	Álvarez et al. (2012)
Páramo Subpáramo	B	> 5	$\exp(-1.85 + 2.11 \ln(DAP))$	Lerma y Orjuela (2014)

Nota: ecuaciones alométricas empleadas como variable predictiva de la biomasa aérea respecto al diámetro normal medido a 130 cm del suelo, donde RA es la vegetación secundaria alta, RB es la vegetación secundaria baja, B es el bosque y PA son las pasturas arboladas.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se sumó la biomasa de todos los individuos para obtener la biomasa de cada parcela y se agruparon los inventarios forestales por tipo de cobertura vegetal o uso del suelo. Adicionalmente, para coberturas como plantaciones forestales, cultivos arbustivos/herbáceos y pastos, se consultó información disponible en diferentes estudios como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de referencia para estimar el carbono almacenado en diferentes cultivos del departamento del Cesar

Criterio	Fijación de CO ₂ toneladas/hectárea	Referencia
Palma africana	80-120	Castilla (2004)
Café	51	White et al. (2011)
Sorgo, arroz, pastos	0,86	Andrade et al. (2014)
Eucalipto	43,58	Norverto (s. f.)
Cacao	1	Andrade et al. (2013)

Nota: cultivos reportados en el mapa de cobertura vegetal y usos del suelo del departamento del Cesar.

Fuente: elaboración propia.

Con estos métodos se obtuvo el contenido de carbono para 45 coberturas de uso del suelo, en 8 zonas de vida que contiene el mapa del Plan de ordenamiento forestal (anexo 1).

Estimación de las emisiones potenciales de CO₂ por deforestación en el departamento del Cesar

En primera instancia, se tomó la información disponible sobre deforestación de Hansen et al. (2013) para el departamento del Cesar. Luego, esta se superpuso con los mapas de zonas de vida y usos del suelo de Corpocesar (2013). Finalmente, se estimó el área deforestada por tipo de cobertura total y por año para el periodo 2000-2014 de acuerdo con dicha información. Como producto se obtuvieron las tasas de deforestación para el departamento en ese periodo. El análisis preliminar se realizó a partir de las series temporales de imágenes Landsat sobre la caracterización de la extensión forestal global y el cambio comprendido entre el 2000 y el 2014, junto con las imágenes de Hansen et al. (2013).

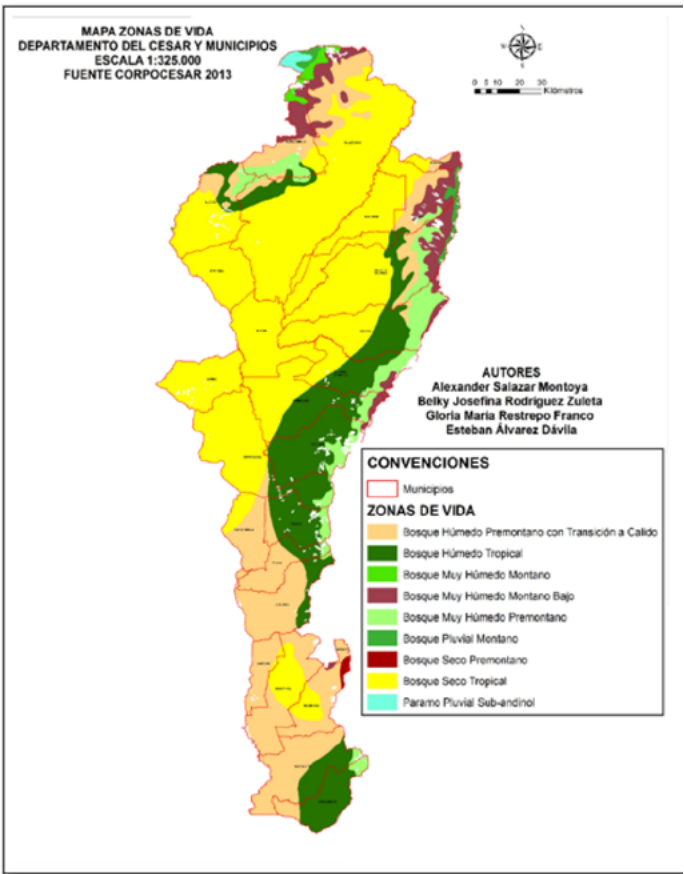
En cuanto al cálculo de las emisiones de CO₂, se estimó el carbono para el área deforestada y se multiplicó por el factor de emisiones de CO₂ por cada tonelada de carbono de biomasa aérea en las áreas deforestadas, cuyo valor es de 3,67. Este factor resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono (44) entre el peso específico del carbono (12). Esta metodología se considera una buena práctica por parte del IPCC (Eggleston et al., 2006; Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC], 2001).

Resultados y discusión

Determinación de las áreas de bosque natural en el departamento del Cesar

En la figura 7 se observa la ubicación espacial de cada una de las zonas de vida del departamento del Cesar con su respectiva división municipal. Esta información se encuentra detallada en el anexo 2.

Figura 7. Mapa de las zonas de vida del departamento del Cesar con su división municipal



Fuente: elaboración propia a partir de Corpocesar (2013).

En la tabla 3 se relacionan 9 zonas de vida con un área de 1 098 701 ha. El bosque seco tropical predomina con 438 000 ha que representan el 39,9 % del área total del departamento del Cesar, una de las áreas boscosas más amenazadas del país que

requiere gran atención y estrategias de conservación. Le sigue el bosque húmedo premontano (incluyendo la transición a cálido) con 320 000 ha que representan el 29,2 % del área del departamento. Luego, se encuentra el bosque húmedo tropical con 218 000 ha que equivalen al 19,9 % del área del departamento. En total, estas tres áreas de bosque suman el 89 % del área del Cesar; por tanto, se deben priorizar en los proyectos de manejo y conservación de los planes departamentales y municipales de desarrollo, el Plan de Acción Institucional de Corpocesar y el Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cesar, teniendo en cuenta los bienes y servicios ambientales que prestan estos ecosistemas.

Tabla 3. Zonas de vida según Holdridge en el departamento del Cesar

Zona de vida	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque seco tropical	438 534,61	39,9
Bosque húmedo tropical	218 460,36	19,9
Bosque seco premontano	1928,31	0,2
Bosque húmedo premontano con transición a cálido	220 480,17	20,1
Bosque muy húmedo premontano	100 374,95	9,1
Bosque muy húmedo montano bajo	86 386,21	7,9
Bosque muy húmedo montano	11 618,25	1,1
Bosque pluvial montano	13 911,98	1,3
Páramo pluvial subandino	7006,69	0,6
Total	1 098 701,53	100

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4 se muestra el análisis del uso del suelo en las zonas de vida en contraste con las coberturas con presencia de bosques naturales o áreas con influencia de árboles. Se evidencia la presencia de 14 usos del suelo diferentes con sus respectivas áreas y porcentajes, en los cuales se resalta la dominancia del arbustal con el 30,88 % de toda el área (anexo 3).

Tabla 4. Usos del suelo según la metodología CORINE Land Cover en el departamento del Cesar

Uso	Área (ha)	%
Arbustal	339 234,91	30,88 %
Bosque de galería o ripario	42 152,57	3,84 %
Bosque denso	71 793,51	6,53 %
Bosque fragmentado	48 745,61	4,44 %
Cultivos agroforestales (palma africana)	28 777,03	2,62 %
Cultivos permanentes arbustivos (café)	9646,25	0,88 %
Cultivos permanentes herbáceos	9015,50	0,82 %
Herbazal	80 932,51	7,37 %
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	134 418,31	12,23 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	224 278,25	20,41 %
Pastos arbolados	63 536,98	5,78 %
Plantación forestal	3264	0,30 %
Vegetación secundaria o en transición	9508,45	0,87 %
Vegetación de páramo y subpáramo	33 397,67	3,04 %
Total	1 098 701,55	100 %

Fuente: elaboración propia.

Entre los usos del suelo se destacan: la cobertura arbustal, el bosque de galería, el bosque denso, el bosque fragmentado y la vegetación de páramo y subpáramo, con un área total de 535 324 ha que representan el 48,73 % del área del departamento del Cesar. Dada su gran importancia en la prestación de bienes y servicios ambientales, se pueden potenciar a través de estrategias de corredores de conservación que mejoren la conectividad y la articulación ecosistémica entre la Sierra Nevada de Santa Marta, la serranía del Perijá y la ciénaga de Zapatosa.

En el 2017, Colombia tenía 59 311 350 ha de bosque natural según el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC) (IDEAM et al., 2018), equivalentes al 52 % del territorio nacional. En el 2013, la región Caribe tenía una superficie de bosque de 1 696 636 ha, equivalente al 2,9 % del país, y el departamento del Cesar, una superficie de bosque de 189 807 ha (IDEAM, 2017), similar al área de 162 691,69 ha reportada en este estudio (tabla 4), que corresponde al bosque de galería, el bosque denso y el bosque fragmentado. En general, el Cesar posee el 11,18 % de los bosques naturales de la región Caribe.

Estimación del carbono almacenado en la vegetación

Con el apoyo del análisis espacial de la información y los usos del suelo en cada una de las zonas de vida del departamento del Cesar (tabla 4) se determinó el área por cobertura y el carbono total por zona de vida, como se observa en la tabla 5. Se identificó que el bosque húmedo tropical y el bosque húmedo premontano con transición a cálido son las zonas de vida con mayor almacenamiento de carbono con 108 349 114 y 105 043 153 toneladas, que corresponden a un 31,25 % y 30,29 %, respectivamente. Es decir que, entre estas dos zonas, se almacena el 61,54 % de carbono en el departamento del Cesar.

Tabla 5. Estimación de carbono almacenado en las zonas de vida para el departamento del Cesar

Zona de vida	Carbono total (t)	%
Bosque seco tropical	32 293 688,68	9,31 %
Bosque húmedo tropical	108 349 114,45	31,25 %
Bosque seco premontano	72 305,24	0,02 %
Bosque húmedo premontano con transición a cálido	105 043 153,63	30,29 %
Bosque muy húmedo premontano	45 231 511,99	13,04 %
Bosque muy húmedo montano bajo	50 337 681,07	14,52 %
Bosque muy húmedo montano	2 992 690,63	0,86 %
Bosque pluvial montano	2 329 819,87	0,67 %
Páramo pluvial subandino	112 290,51	0,03 %
Total	346 762 256,09	100 %

Fuente: elaboración propia.

El cálculo de la estimación de carbono en cada zona de vida, de acuerdo con las coberturas de uso del suelo para obtener los resultados de la tabla 5, generó un total de 346 762 256 toneladas de carbono almacenado en todo el departamento (anexo 4).

En el estudio de Yepes et al. (2011) sobre el departamento de Antioquia, se presenta la biomasa área de los bosques con valores entre 144 y 352 t/ha (Mg/ha), equivalentes a 72-176 t C/ha (MgC/ha). Por otra parte, en el estudio de Vásquez y Arellano (2012) sobre el sur y el noroccidente de Córdoba, en los bosques de la

clase muy alta, se encontraron valores entre 36,79-44,1 t/0,05 ha de biomasa y 7,69-18,72 t C/0,05 ha. Estos estudios por departamento presentan valores estimados que se relacionan con los obtenidos en este trabajo para el departamento del Cesar: entre 82,63 y 388,26 t/ha en biomasa y 38,94-182,48 t C/ha. En estos tres departamentos, la biomasa área se encuentra entre los rangos estimados para los bosques naturales de Colombia: $58,5 \pm 22,8$ t/ha y $301,8 \pm 106,9$ t/ha (Phillips et al., 2011).

Con respecto al carbono almacenado por los bosques naturales de Colombia, los valores varían entre 48,1 t C/ha y 147,5 t C/ha (Phillips et al., 2011). Entre estos rangos se encuentran los valores obtenidos en los estudios mencionados en el párrafo anterior para los casos de Antioquia, Córdoba y Cesar, con una pequeña diferencia respecto al valor superior de carbono almacenado en los departamentos de Antioquia y Cesar.

Estimación de las emisiones potenciales de CO₂ por deforestación en el departamento del Cesar

Deforestación

En la tabla 6 se observa una pérdida de 84 923,26 ha en un periodo de 14 años, 2001-2014, en el que el 2007 y el 2003 son los años con mayor deforestación: 14,4 % y 12,7 %, respectivamente. La tasa promedio de deforestación anual fue de 7076,94 ha, situación que incide en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Tabla 6. Análisis de la deforestación anual en el departamento del Cesar

Año	Área pérdida (ha)	%
2001	6031,08	7,1 %
2002	5662,98	6,7 %
2003	10 815,04	12,7 %
2004	5207,01	6,1 %
2005	5190,05	6,1 %
2006	5528,55	6,5 %
2007	12 227,31	14,4 %
2008	4433,24	5,2 %
2009	6856,99	8,1 %
2010	4399,29	5,2 %
2011	4043,62	4,8 %

Año	Área pérdida (ha)	%
2012	6002,06	7,1 %
2013	3762,03	4,4 %
2014	4764,01	5,6 %
Total	84 923,26	100 %

Fuente: elaboración propia a partir de Hansen et al. (2013).

En el 2017, Colombia alcanzó un total de 219 973 ha deforestadas, de las cuales 15 655 ha se ubicaron en la región Caribe; este valor corresponde al 7,11 % de la deforestación nacional de acuerdo con el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) (IDEAM et al., 2018). En el 2014, el departamento del Cesar alcanzó una superficie deforestada de 4764 ha (tabla 6) y, en el 2017, de 378 ha (IDEAM, 2017); este valor representa un cambio significativo en la tasa de deforestación departamental, que se ratifica al analizar el área deforestada en el departamento en el 2020: 324 ha (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, e IDEAM, 2021).

Para el presente trabajo, se realiza la estimación con respecto a los bosques de las zonas de vida del departamento del Cesar, como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Reservas de carbono almacenadas en la biomasa para diferentes zonas de vida en el departamento del Cesar

Tipo de bosque	A _i (ha)	C _i (t ha ⁻¹)	Carbono total (t)	Dióxido de carbono CO ₂ ei (t)
Bosque seco tropical	438 534,61	73,64	32 293 688,68	118 517 837,46
Bosque húmedo tropical	218 460,35	495,97	108 349 114,45	397 641 250,03
Bosque seco premontano	1928,30	37,50	72 305,24	265 360,24
Bosque húmedo premontano con transición a cálido	220 480,18	476,43	105 043 153,63	385 508 373,83
Bosque muy húmedo premontano	100 374,97	450,63	45 231 511,99	165 999 649,02
Bosque muy húmedo montano bajo	86 386,21	461,05	39 828 322,60	146 169 943,93
Bosque muy húmedo montano	11 618,25	257,59	2 992 690,63	10 983 174,63

Tipo de bosque	A _i (ha)	C _j (t ha ⁻¹)	Carbono total (t)	Dióxido de carbono CO ₂ eq (t)
Bosque pluvial montano	13 911,99	167,47	2 329 819,87	8 550 438,92
Páramo pluvial subandino	7006,69	16,03	112 290,51	412 106,17
Total	1 098 701,55	2436,29	336 252 897,61	1 234 048 134,24

Nota: A_i es la extensión del bosque en el departamento en el 2013, C_j es el promedio de carbono por hectárea en las diferentes zonas de vida del Cesar y t es la abreviatura de tonelada.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 7, se estima que, en el departamento del Cesar, el carbono almacenado es de 336 252 897 toneladas, siendo el bosque húmedo tropical la zona de vida con mayor almacenamiento de carbono con 108 349 114 toneladas, que equivalen al 31,25 % del carbono almacenado en el departamento. Con respecto al dióxido de carbono equivalente, se estima un valor de 1 234 048 134 toneladas, donde la zona de vida con mayor valor es el bosque húmedo tropical con 397 641 250 toneladas de CO₂ equivalente, que corresponden al 31,25 % del total en el departamento.

El Cesar tiene 336 252 897 toneladas de carbono total almacenado en la biomasa área de los bosques naturales (tabla 7). Este servicio ambiental de gran importancia se debe incorporar en el proceso de planificación territorial y de desarrollo sectorial, a través de programas y acciones de conservación y manejo de los ecosistemas presentes en el departamento, de acuerdo con las zonas de vida y sus coberturas de uso del suelo. Para ello, se deben considerar los servicios ecosistémicos que prestan en cuanto a la reducción de emisiones y el aumento de la adaptación territorial y sectorial, dentro del marco de la línea estratégica *Manejo y conservación de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos para el desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima* de la política nacional de cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

En el *Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cesar 2032* se estima que, en los próximos años, las emisiones crecerán a un ritmo de 1,7 % anual. Esto significa que, en el 2032, se alcanzarían emisiones por el orden de 9780 Gg de CO₂ eq/año (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016) —Gg de CO₂ equivale a 1000 toneladas CO₂ (Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A. C., s. f.)—. Con base en los resultados alcanzados (tabla 7), las emisiones de CO₂ equivalente del departamento podrían alcanzar 1 234 048 Gg de CO₂ equivalente si las áreas de bosques naturales del Cesar fueran deforestadas.

Al analizar el área deforestada en el departamento del Cesar en el 2020, que fue de 324 hectáreas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, e IDEAM, 2021), y los resultados de la tabla 7, se observa que esta área dejó de almacenar en promedio 102 257,92 toneladas de carbono y se generaron 375 286,69 toneladas de dióxido de carbono equivalente durante ese año en el departamento.

Conclusiones

El departamento del Cesar cuenta con 9 zonas de vida dentro de su territorio, con un total de 1 098 701,55 ha, de las cuales 162 691 ha corresponden a bosques naturales, lo que equivale al 14,8 % del área total. Se destacan las zonas de bosque seco tropical con 438 000 ha, bosque húmedo tropical con 218 000 ha y bosque húmedo premontano (incluyendo la transición a cálido) con 320 000 ha, las cuales se deben priorizar en las estrategias de manejo y conservación.

La estimación de carbono almacenado en el departamento del Cesar alcanza 336 252 897 toneladas, que representan 1 234 048 134 toneladas de dióxido de carbono equivalente, las cuales serían emitidas a la atmósfera si las áreas de bosques naturales del departamento fueran deforestadas. Es importante resaltar que el área de deforestación ha disminuido significativamente en los últimos años: de 4674 ha en el 2014 a 378 ha en el 2017 y, finalmente, a 324 ha en el 2020.

Además de la estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques naturales y en cada una de las coberturas de uso del suelo de las zonas de vida del departamento del Cesar, es necesario cuantificar y sumar el carbono almacenado en el suelo. Para esto, se cuenta con el apoyo del Mapa de Stock Carbono Orgánico de Suelo a nivel nacional (MCOS) y el Mapa de Incertidumbre Carbono Orgánico de Suelo (MICOS) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, que permiten estimar la existencia de carbono sobre el territorio colombiano para polígonos de 1 km².

Contribución de la autoría

Primer autor: investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Segundo autor: investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Tercer autor: investigación, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Cuarto autor: investigación, análisis de datos, metodología, conceptualización y revisión.

Agradecimientos

A la Universidad de Manizales, por el conocimiento adquirido durante todo el proceso de formación académica de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por su apoyo en los tiempos y recursos humanos para desarrollar este trabajo de maestría.

Referencias

- Álvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., De Las Salas, G., Del Valle, I., Lema, Á., Moreno, F., Orrego, S. y Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297-308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>
- Andrade, H. J., Campo, O. y Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 25-31. <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/394/311>
- Andrade, H. J., Figueroa, J., Silva, D. P. (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Revista Scientia Agroalimentaria*, 1, 6-10. <https://repository.ut.edu.co/handle/001/1318>
- Castilla, C. E. (2004). Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 25(especial), 366-371. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1101>
- Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A. C. (s. f.). *Programa municipal de cambio climático de León*. <https://leon.gob.mx/modulos/img/adjuntos/adjuntos-646.pdf>
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4), 351-366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2013). *Plan general de ordenación forestal del departamento del Cesar*. Corpocesar.
- Departamento Nacional de Planeación. (2015). *El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz. Misión para la transformación del campo*. Nuevas Ediciones S. A.

- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Implementación de la estrategia de control integral en los núcleos de deforestación priorizados en el Cesar*. <https://www.corpocesar.gov.co/files/5.2.Implementacion%20de%20la%20estrategia%20de%20control%20integral%20de%20los%20nucleos%20de%20deforestacion.pdf>
- Eggleston, H. S., Miwa, K., Srivastava, N., & Tanabe, K. (Eds.). (2008). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Indicadores. Tasa anual de deforestación*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/bosques-y-recurso-forestal>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Instituto Geográfico Agustín Codazzi; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis; Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, e Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann. (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Imprenta Nacional de Colombia
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Departamento Nacional de Planeación, y Cancillería. (2018). *Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/47096251_Colombia-BUR2-1-2BUR%20COLOMBIA%20SPANISH.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2001), Cambio climático 2001, <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/spanish/pdf/wg1sum.pdf>
- Lerma, M. A. y Orjuela, E. L. (2014). *Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia* [trabajo de grado, Universidad del Tolima]. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/2370>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cesar 2032*. https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion__al_territorio/Cesar_pag_ind.pdf

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política nacional de cambio climático*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/9.-Politica-Nacional-de-Cambio-Climatico.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *Resultados del monitoreo de deforestación año 2020, primer trimestre del 2021*. http://www.ideam.gov.co/documents/10182/113437783/Presentacion_Deforestacion2020_SMBByC-IDEAM.pdf/8ea7473e-3393-4942-8b75-88967ac12a19
- Norverto, C. A. (s. f.). *La fijación de CO₂ en plantaciones forestales y en productos de madera en Argentina*. <https://www.fao.org/3/XII/0043-B2.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022, Informe Seúl/Roma. <https://www.fao.org/newsroom/detail/global-deforestation-slows-but-rainforests-under-threat-fao-report-shows-030522/es>
- 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. y 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. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Estimaci%C3%B3n+Carbono+2010.pdf/e0861b29-7cf2-4c43-8fd3-ea50cbbba7db>
- Sierra, C. A., Del Valle, J. I., Orrego, S. A., Moreno, F. H., Harmon, M. E., Zapata, M., Colorado, G. J., Herrera, M. A., Lara, W., Restrepo, D. E., Berrouet, L. M., Loaiza, L. M. y Benjumea, J. F. (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 243(2-3), 209-309. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.026>
- Vásquez, A. y Arellano, H. (2012). Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba. En J. O. Rangel (Ed.) *Colombia biodiversidad biótica XII: la región Caribe de Colombia* (pp. 923-961). Universidad Nacional de Colombia. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.0248.pdf>
- White, D., Minang, P., Pagiola, S., Swallow, B., Van Noordwijk, M., Hyman, G., Robiglio, V., Velarde, S., Hairiah, K., Agus, F., Börner, J. y Gockowski, J. (2011). *Estimación de los costos de oportunidad de REDD+*. Manual de capacitación. Banco Mundial <https://www.forestcarbonpartnership.org/estimaci%C3%B3n-de-los-costos-de-opportunidad-de-redd>

Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., García, M. C. y Ordoñez, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Zarin, D. J., Harris, N. L., Baccini, A., Aksenov, D., Hansen, M. C., Azevedo-Ramos, C., Azevedo, T., Margono, B. A., Alencar, A. C., Gabris, C., Allegretti, A., Potapov, P., Farina, M., Walker, W. S., Shevade, V. S., Loboda, T. V., Turubanova, S., & Tyukavina, A. (2016). Can carbon emissions from tropical deforestation drop by 50% in 5 years? *Global Change Biology*, 22(4), 1336-1347. <https://doi.org/10.1111/gcb.13153>

Lecturas recomendadas

Araújo, T. M., Higuchi, N., & Andrade de Carvalho, J. (1999). Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117(1-3), 43-52. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00470-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00470-8)

Barón Parra, M. L. y Triana Gómez, M. A. (2017). Estimación de la biomasa y carbono almacenado en la cobertura arbórea de la región del Carare-Opón (Santander). *INGE CUC*, 13(2), 84-94. <http://doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.09>

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Metodología Corine Land Cover*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover4>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:500.000 (Cartografía temática)*. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-82.43784778320864,-0.17644239911865092,-71.23179309571162,9.90326984502256,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=206>

Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P. y Navarrete, D. A. (2010). *Avances en la estimación de las reservas potenciales de carbono almacenado en la biomasa aérea en bosques naturales en Colombia. Informe de resultados, versión 3. 2*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Fundación Natura Colombia, y Betty and Gordon Moore Foundation.

- Rügnitz, M., Chacón, M. y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). <https://www.cifor-icraf.org/publications/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Montagu, K., Bi, H., Burrows, W., & Eamus, D. (2002). *Protocol for sampling tree and stand biomass*. Australian Greenhouse Office. https://www.researchgate.net/publication/298252249_Protocol_for_Sampling_Tree_and_Stand_Biomass?channel=doi&linkId=56e78fea08ae438aab-8848f0&showFulltext=true
- Thomas, S. C., & Martin, A. R. (2012). Carbon content of tree tissues: a synthesis. *Forests*, 3(2), 332-352. <https://doi.org/10.3390/f3020332>
- Yepes, A., Cabrera, E., Álvarez, E., Corrales, A., Galindo, G., García, M. C., Navarrete, D., Phillips, J. F., Vargas, D. y Duque, A. (2009). Estimación de las reservas y pérdida de carbono por deforestación en el periodo 2000-2007 en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia. En A. Duque, R. Callejas y A. Corrales, *Expedición Antioquia 2013-Informe Final. Proyecto Diversidad, dinámica y productividad de los bosques de Antioquia* (pp. 44-58). Universidad de Antioquia y Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Anexos

Anexo 1. Cálculo de biomasa y carbono para el departamento del Cesar por zona de vida y cobertura

Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Bosque húmedo premontano con transición a cálido 800-1800 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	57 282,64	12,62	5,93	339 858,18	Autores
	Bosque de galería o ripario	Bosque	13 868,64	247,50	116,32	1 613 262,46	Autores
	Bosque denso	Bosque	9790,21	247,50	116,32	1 138 841,17	Autores
	Bosque fragmentado	Rastrojo alto	22 308,98	54,04	25,40	566 634,68	Autores
	Cultivos agroforestales	Palma africana	3072,25	100,00	47,00	144 395,75	Castilla (2004)
	Cultivos permanentes arbustivos	Café agroforestal	4942,81	51,00	23,97	118 479,16	Banco Mundial (2011)
	Cultivos permanentes herbáceos	Pastos	252,67	0,86	0,40	102,13	Andrade (2014)
	Herbazal	Rastrojo bajo	18 909,47	12,62	5,93	112 189,98	Autores
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Promedio: palma + café + pastos + bosques	39 213,20	99,84	46,92	1 840 066,56	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Mosaico de pastos con espacios naturales	Promedio: pastos + bosque	45 517,67	124,18	58,36	2 656 608,97	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Pastos arbolados	Pasturas arboladas	5190,59	9,47	4,45	23 108,54	Autores
	Vegetación secundaria o en transición	Rastrojo alto	131,05	54,04	25,40	3328,59	Autores

Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Subtotal			220 480,18	1013,68	476,43	105 043 153,63	
Bosque húmedo tropical < 800 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	74 856,55	14,23	6,69	500 633,00	Autores
	Bosque de galería o ripario	Bosque	8999,78	243,68	114,53	1 030 738,76	Autores
	Bosque denso	Bosque	8998,89	243,68	114,53	1 030 636,83	Autores
	Bosque fragmentado	Rastrojo alto	11 938,54	56,94	26,76	319 518,87	Autores
	Cultivos agroforestales	Palma africana	9215,41	100,00	47,00	433 124,27	Castilla (2004)
	Cultivos permanentes arbustivos	Café agroforestal	1075,02	51,00	23,97	25 768,23	Banco Mundial (2011)
	Cultivos permanentes herbáceos	Pastos	1253,69	0,86	0,40	506,74	Andrade (2014)
	Herbazal	Rastrojo bajo	7949,74	14,23	6,69	53 167,05	Autores
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Promedio: palma + café + pastos + bosques	20 056,19	98,88	46,48	932 129,12	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Mosaico de pastos con espacios naturales	Promedio: pastos + bosque	69 323,71	122,27	57,47	3 983 809,31	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Pastos arbolados	Pasturas arboladas	4740,33	9,47	4,45	21 103,98	Autores
	Plantación forestal	Palma africana	52,50	100,00	47,00	2 467,50	Castilla (2004)
Subtotal			218 460,35	1055,25	495,97	108 349 114,45	

Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Bosque muy húmedo montano 2800-3700 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	1482,54	17,09	8,03	11 908,46	Autores
	Bosque de galería o ripario	Bosque	79,90	191,74	90,12	7200,34	Autores
	Bosque denso	Bosque	1548,30	191,74	90,12	139 527,90	Autores
	Herbazal	Rastrojo bajo	2134,11	17,09	8,03	17 142,18	Autores
	Mosaico de pastos con espacios naturales	Promedio: pastos + bosques	438,89	96,30	45,26	19 864,39	Andrade (2013)
	Vegetación de páramo y subpáramo	Promedio: vegetación de páramo y subpáramo	5934,51	34,10	16,03	95 107,55	Autores
Subtotal			11 618,25	548,05	257,59	2 992 690,63	



Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Bosque muy húmedo montano bajo 1800-2800 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	13 362,95	42,51	19,98	266 995,49	Autores
	Bosque de galería o ripario	Bosque	1111,82	388,26	182,48	202 888,54	Autores
	Bosque denso	Bosque	21 456,22	388,26	182,48	3 915 401,10	Autores
	Bosque fragmentado	Rastrojo alto	3914,18	85,31	40,10	156 944,00	Autores
	Cultivos permanentes arbustivos	Cultivo	504,88		0,00	0,00	
	Cultivos permanentes herbáceos	Pastos	11,74		0,00	0,00	
	Herbazal	Rastrojo bajo	24 249,40	42,51	19,98	484 509,82	Autores
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Promedio: cultivo + pastos + bosques	3527,78	0,00	0,00	0,00	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Mosaico de pastos con espacios naturales	Promedio: pastos + bosques	9798,29	258,84	121,66	1 192 015,97	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Vegetación de páramo y subpáramo	Promedio: vegetación de páramo y subpáramo	8448,95	34,10	16,03	135 404,43	Autores
Subtotal			86 386,21	1239,80	582,71	50 337 681,07	

Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Bosque muy húmedo premontano 800-1800 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	25 321,06	12,62	5,93	150 229,97	Autores
	Bosque de galería o ripario	Bosque	417,60	247,50	116,32	48 577,11	Autores
	Bosque denso	Bosque	14 192,06	247,50	116,32	1 650 884,13	Autores
	Bosque fragmentado	Rastrojo alto	4227,14	54,04	25,40	107 366,82	Autores
	Cultivos agroforestales	Palma africana	193,75	100,00	47,00	9106,25	Castilla (2004)
	Cultivos permanentes arbustivos	Café agroforestal	2599,29	51,00	23,97	62 304,98	Banco Mundial (2011)
	Herbazal	Rastrojo bajo	14 905,70	12,62	5,93	88 435,59	Autores
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Promedio: palma + café + pastos + bosques (bh-PM)	14 319,62	99,84	46,92	671 943,47	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Mosaico de pastos con espacios naturales	Promedio: pastos + bosque (bh-PM)	22 799,27	124,18	58,36	1 330 664,45	Andrade (2014)
	Pastos arbolados	Pasturas arboladas	1399,48	9,47	4,45	6230,49	Autores
Subtotal			100 374,97	958,78	450,63	45 231 511,99	

Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Bosque pluvial montano 2800-3700 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	821,71	17,09	8,03	6600,36	Autores
	Bosque denso	Bosque	245,10	191,74	90,12	22 087,64	Autores
	Herbazal	Rastrojo bajo	803,21	17,09	8,03	6451,76	Autores
	Mosaico de pastos con espacios naturales	Promedio: pastos + bosques	34,45	96,30	45,26	1559,22	Mixta
	Vegetación de páramo y subpáramo	Promedio: vegetación de páramo y subpáramo	12 007,52	34,10	16,03	192 434,73	Autores
Subtotal			13 911,99	356,32	167,47	2 329 819,87	
Bosque seco premontano 800-1800 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	311,64	12,62	5,93	1848,96	Autores
	Bosque fragmentado	Rastrojo alto	174,63	16,61	7,81	1362,99	Autores
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Promedio: palma + café + pastos + bosques	1442,03	50,55	23,76	34 260,99	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
Subtotal			1928,30	79,78	37,50	72 305,24	

Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Bosque seco tropical < 800 msnm	Arbustal	Rastrojo bajo	165 795,82	14,23	6,69	1 108 825,60	Autores
	Bosque de galería o ripario	Bosque	17 674,83	82,63	38,84	686 411,43	Autores
	Bosque denso	Bosque	15 562,73	82,63	38,84	604 386,90	Autores
	Bosque fragmentado	Rastrojo alto	6182,14	26,75	12,57	77 724,80	Autores
	Cultivos agroforestales	Palma africana	16 295,62	100,00	47,00	765 894,14	Secundaria
	Cultivos permanentes arbustivos	Cacao	524,25	1,00	0,47	246,40	Andrade (2013)
	Cultivos permanentes herbáceos	Pastos	7497,40	0,86	0,40	3030,45	Secundaria
	Herbazal	Rastrojo bajo	11 980,88	14,23	6,69	80 126,91	Autores
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Promedio: palma + cacao + pastos + bosque	55 859,49	46,12	21,68	1 210 890,35	Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004)
	Mosaico de pastos con espacios naturales	Promedio: pastos + bosque	76 365,97	41,74	19,62	1 498 290,10	Andrade (2013)
	Pastos arbolados	Pasturas arboladas	52 206,58	9,47	4,45	232 424,04	Autores
	Plantación forestal	Palma africana	3211,50	100,00	47,00	150 940,50	Castilla (2004)
	Vegetación secundaria o en transición	Rastrojo alto	9 377,40	26,75	12,57	117 897,13	Autores
Subtotal			438 534,61	546,42	256,82	112 622 404,63	

Zona de vida	Uso	Homologación	Total (ha)	Biomasa (ton/ha)	C (t/ha)	Carbono total (t)	Referencia
Páramo pluvial subandino	Vegetación de páramo y subpáramo	Vegetación de páramo y subpáramo	7006,69	34,10	16,03	112 290,51	Autores
Subtotal			7006,69	34,10	16,03	112 290,51	
Total			1 098 701,55				

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Zonas de vida a nivel municipal en el departamento del Cesar

Municipio	Zona de vida	Área (ha)	Total (ha)
Aguachica	Bosque seco tropical	12 324	37 450
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	25 126	
Agustín Codazzi	Bosque húmedo tropical	9657	80 040
	Bosque muy húmedo montano bajo	18 668	
	Bosque muy húmedo premontano	13 327	
	Bosque pluvial montano	5288	
	Bosque seco tropical	25 527	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	7573	
Astrea	Bosque seco tropical	25 172	25 172
Becerril	Bosque húmedo tropical	18 691	68 529
	Bosque muy húmedo montano bajo	5060	
	Bosque muy húmedo premontano	21 501	
	Bosque seco tropical	22 038	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	1239	
Bosconia	Bosque seco tropical	23 543	23 543

Municipio	Zona de vida	Área (ha)	Total (ha)
Chimichagua	Bosque húmedo tropical	14 127	60 728
	Bosque muy húmedo premontano	3543	
	Bosque seco tropical	41 272	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	1786	
Chiriguaná	Bosque húmedo tropical	23 959	55 413
	Bosque muy húmedo montano bajo	3204	
	Bosque muy húmedo premontano	5256	
	Bosque seco tropical	22 994	
Curumaní	Bosque húmedo tropical	39 545	50 166
	Bosque muy húmedo montano bajo	598	
	Bosque muy húmedo premontano	9826	
	Bosque seco tropical	197	
El Copey	Bosque húmedo tropical	7258	42 811
	Bosque muy húmedo premontano	4817	
	Bosque seco tropical	24 184	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	6552	
El Paso	Bosque seco tropical	32 750	32 750
Gamarra	Bosque seco tropical	749	14 550
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	13 801	
González	Bosque seco premontano	876	2985
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	2109	
La Gloria	Bosque húmedo tropical	9150	39 481
	Bosque muy húmedo premontano	633	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	29 698	

Municipio	Zona de vida	Área (ha)	Total (ha)
La Jagua de Ibirico	Bosque húmedo tropical	18 027	41 961
	Bosque muy húmedo montano bajo	3704	
	Bosque muy húmedo premontano	11 573	
	Bosque seco tropical	8657	
La Paz	Bosque húmedo tropical	1954	56 354
	Bosque muy húmedo montano bajo	16 244	
	Bosque muy húmedo premontano	2599	
	Bosque pluvial montano	3 546	
	Bosque seco tropical	22 483	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	9528	
Manaure	Bosque muy húmedo montano bajo	4150	8233
	Bosque pluvial montano	388	
	Bosque seco tropical	1985	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	1710	
Pailitas	Bosque húmedo tropical	21 122	28 885
	Bosque muy húmedo premontano	4744	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	3019	
Pelaya	Bosque húmedo tropical	5521	20 461
	Bosque muy húmedo premontano	1505	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	13 435	
Pueblo Bello	Bosque húmedo tropical	1250	47 890
	Bosque muy húmedo montano	4 309	
	Bosque muy húmedo montano bajo	15 025	
	Bosque muy húmedo premontano	12 849	
	Bosque seco tropical	3335	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	11 122	

Municipio	Zona de vida	Área (ha)	Total (ha)
Río de Oro	Bosque muy húmedo montano bajo	706	24 203
	Bosque seco premontano	1052	
	Bosque seco tropical	6132	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	16 313	
San Alberto	Bosque húmedo tropical	23 182	30 590
	Bosque muy húmedo premontano	3766	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	3642	
San Diego	Bosque húmedo tropical	80	26 836
	Bosque seco tropical	26 437	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	319	
San Martín	Bosque húmedo tropical	15 303	48 311
	Bosque muy húmedo premontano	1661	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	31 347	
Tamalameque	Bosque seco tropical	5332	22 256
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	16 924	
Valledupar	Bosque húmedo tropical	9634	209 104
	Bosque muy húmedo montano	7309	
	Bosque muy húmedo montano bajo	19 027	
	Bosque muy húmedo premontano	2775	
	Bosque pluvial montano	4691	
	Bosque seco tropical	133 424	
	Páramo pluvial subandino	7007	
	Bosque húmedo premontano con transición a cálido	25 237	
Total general (ha)			1 098 702

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Coberturas del departamento del Cesar y su homologación

Caracterización física del departamento del Cesar ⁷	Descripción	Homologación coberturas
Arbustal	- Plantaciones de coníferas o latifoliadas con un área mayor a 25 ha. - Plantaciones jóvenes con un área mayor a 25 ha. - Zonas quemadas con un área menor a 25 ha, incluida dentro de la plantación. - Parcelas de plantaciones en proceso de aprovechamiento (zonas en tala). - Infraestructura asociada con un área menor a 5 ha (vías, campamentos, aserraderos).	Rastrojos bajos
Bosque de galería o ripario	- Bosque de galería o ripario con un ancho de la franja mayor o igual a 50 m y un área superior a 25 ha. - Curso de agua con un ancho menor o igual a 50 m. - Coberturas de asociaciones de palma y guadua a lo largo de los márgenes de los drenajes, con altura del dosel y densidad del bosque natural.	Bosque
Bosque denso	- Áreas con una cobertura densa de palmas naturales cuando la formación vegetal presenta la altura mínima y el área es superior a 25 ha (en Colombia, se pueden presentar asociaciones vegetales con predominio de palmas como el naidizal y el morichal). - Áreas con una cobertura densa de guadua cuando la formación vegetal presenta la altura mínima y el área es superior a 25 ha (guaduales). - Formaciones arbóreas secundarias regeneradas de manera natural que han alcanzado la densidad y la altura de un bosque natural. - Afloramientos rocosos incluidos dentro del bosque natural con un área menor a 25 ha.	Bosque
Bosque fragmentado	- Coberturas de cultivos con un área menor a 25 ha, que no constituyen más del 30 % del área de cobertura total. - Coberturas de pastos con un área menor a 25 ha, que no constituyen más del 30 % del área de cobertura total. - Áreas degradadas (minería) o afloramientos rocosos incluidos dentro de la cobertura de bosque natural con un tamaño menor a 25 ha.	Rastrojos altos
Pastos arbolados	- Pastos arbolados con un área mayor a 25 ha. - Pastos arbolados bordeados con setos. - Pastos arbolados con zonas inundables o pantanosas con un área menor a 25 ha. - Infraestructuras asociadas con los pastos arbolados con un área menor a 25 ha, como corrales o establos.	Pasturas arboladas/silvopastoriles

⁷ Coberturas según la metodología CORINE Land Cover.

Caracterización física del departamento del Cesar ⁷	Descripción	Homologación coberturas
Plantación forestal	• Plantaciones de coníferas o latifoliadas con un área mayor a 25 ha. • Plantaciones jóvenes con un área mayor a 25 ha. • Zonas quemadas con un área menor a 25 ha, incluida dentro de la plantación. • Parcelas de plantaciones en proceso de aprovechamiento (zonas en tala). • Infraestructura asociada con un área menor a 5 ha (vías, campamentos, aserraderos).	Palma/ eucalipto
Vegetación de páramo y subpáramo	• Herbazal denso (páramo). • Otras coberturas incluidas con un área inferior al área mínima cartografiada de acuerdo con la escala de trabajo, que representen menos del 30 % del total de la unidad, como - Coberturas de herbazales naturales. - Coberturas naturales de herbáceas de páramo y subpáramo. - Coberturas de herbazales quemados.	Vegetación de páramo y subpáramo
Vegetación secundaria o en transición	Comprende una cobertura vegetal originada por procesos de sucesión de vegetación natural, que se presenta después de una intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, o que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Dichos procesos se desarrollan en zonas desmontadas para diferentes usos, áreas agrícolas abandonadas y zonas donde la vegetación natural fue desierta por la ocurrencia de eventos naturales.	Bosques/ rastros altos
Cultivos agroforestales	Estas zonas están ocupadas por arreglos o combinaciones de diferentes especies con hábitos herbáceos y arbustivos ya arbóreos. Se encuentran combinadas en la misma área, alternadas por surcos o hileras de árboles con cultivos o árboles con pastos: • Áreas en complejos de cultivos que tengan más de 25 ha en arreglos de cultivos de árboles con cultivos y cultivos de árboles con pastos. • Infraestructura asociada con el cultivo que no ocupe más de 5 ha. • Zonas destinadas a agroforestales en etapa temprana.	Café agroforestal/ cacao agroforestal
Cultivos permanentes arbustivos	Coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como café, cacao, coca y viñedos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso y una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida.	Café

Caracterización física del departamento del Cesar ⁷	Descripción	Homologación coberturas
Cultivos permanentes herbáceos	Cobertura compuesta principalmente por cultivos permanentes de hábito herbáceo como caña de azúcar y panelera, plátano, banano y tabaco. Las herbáceas son plantas que no presentan órganos leñosos, son verdes y tienen un ciclo de vida vegetativo anual.	Arroz/pastos
Herbazal	Estas coberturas están constituidas por una comunidad vegetal, caracterizada principalmente por elementos herbáceos desarrollados de forma natural en diferentes densidades y sustratos. Se define como hierba a una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene una consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos. Estos herbazales son diferenciados en tres grupos: cobertura herbácea, densos y abiertos. De acuerdo con su condición de inundabilidad, se clasifican en inundables y de tierra firme. De acuerdo con la presencia de árboles y arbustos, se clasifican en arbolados y no arbolados.	Rastrojos bajos
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	• Mezcla de parcelas de pastos y cultivos con intercalaciones de espacios naturales, con un área mayor a 25 ha. • Parcelas agrícolas de cultivos anuales o transitorios con un área menor a 25 ha. • Zonas pantanosas con un área menor a 25 ha. • Pequeños cuerpos de agua naturales con un área menor a 25 ha. • Relictos de bosques con un área menor a 25 ha. • Bosques de galería o riparios y arbustales con un área menor a 25 ha. • Parcelas de cultivos confinados y frutales con un área menor a 25 ha. • Infraestructuras asociadas con los pastos manejados (viviendas rurales, setos, vías).	
Mosaico de pastos con espacios naturales	• Mezcla de parcelas de pastos y zonas de espacios naturales con un área mayor a 25 ha. • Zonas pantanosas con un área menor a 25 ha. • Pequeños cuerpos de agua con un área menor a 25 ha. • Relictos de bosques con un área menor a 25 ha. • Bosques de galería o riparios y arbustales con un área menor a 25 ha. • Infraestructuras asociadas con los pastos manejados (viviendas rurales, setos, vías).	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Coberturas para la estimación de carbono almacenado por zona de vida

Bosque seco tropical en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	165 795,82	37,81 %
Bosque de galería o ripario	17 674,83	4,03 %
Bosque denso	15 562,73	3,55 %
Bosque fragmentado	6182,14	1,41 %
Cultivos agroforestales	16 295,62	3,72 %
Cultivos permanentes arbustivos	524,25	0,12 %
Cultivos permanentes herbáceos	7497,40	1,71 %
Herbazal	11 980,88	2,73 %
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	55 859,49	12,74 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	76 365,97	17,41 %
Pastos arbolados	52 206,58	11,90 %
Plantación forestal	3211,50	0,73 %
Vegetación secundaria o en transición	9377,40	2,14 %
Total	438 534,61	100,00 %

Bosque húmedo tropical en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	74 856,55	34,27 %
Bosque de galería o ripario	8999,78	4,12 %
Bosque denso	8998,89	4,12 %
Bosque fragmentado	11 938,54	5,46 %
Cultivos agroforestales	9 215,41	4,22 %
Cultivos permanentes arbustivos	1075,02	0,49 %
Cultivos permanentes herbáceos	1253,69	0,57 %
Herbazal	7949,74	3,64 %
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	20 056,19	9,18 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	69 323,71	31,73 %

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Pastos arbolados	4740,33	2,17 %
Plantación forestal	52,50	0,02 %
Total	218 460,35	100,00 %

Bosque seco premontano en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	311,64	16,16 %
Bosque fragmentado	174,63	9,06 %
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1442,03	74,78 %
Total	1928,30	100,00 %

Bosque húmedo premontano con transición a cálido en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	57 282,64	25,98 %
Bosque de galería o ripario	13 868,64	6,29 %
Bosque denso	9790,21	4,44 %
Bosque fragmentado	22 308,98	10,12 %
Cultivos agroforestales	3072,25	1,39 %
Cultivos permanentes arbustivos	4942,81	2,24 %
Cultivos permanentes herbáceos	252,67	0,11 %
Herbazal	18 909,47	8,58 %
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	39 213,20	17,79 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	45 517,67	20,64 %
Pastos arbolados	5190,59	2,35 %
Vegetación secundaria o en transición	131,05	0,06 %
Total	220 480,18	100,00 %

Bosque muy húmedo premontano en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	25 321,06	25,23 %
Bosque de galería o ripario	417,60	0,42 %
Bosque denso	14 192,06	14,14 %
Bosque fragmentado	4227,14	4,21 %
Cultivos agroforestales	193,75	0,19 %
Cultivos permanentes arbustivos	2599,29	2,59 %
Herbazal	14 905,70	14,85 %
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	14 319,62	14,27 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	22 799,27	22,71 %
Pastos arbolados	1399,48	1,39 %
Total	100 374,97	100,00 %

Bosque muy húmedo montano bajo en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	13 362,95	15,47 %
Bosque de galería o ripario	1111,82	1,29 %
Bosque denso	21 456,22	24,84 %
Bosque fragmentado	3914,18	4,53 %
Cultivos permanentes arbustivos	504,88	0,58 %
Cultivos permanentes herbáceos	11,74	0,01 %
Herbazal	24 249,40	28,07 %
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3527,78	4,08 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	9798,29	11,34 %
Vegetación de páramo y subpáramo	8448,95	9,78 %
Total	86 386,21	100,00 %

Bosque muy húmedo montano en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	1482,54	12,76 %
Bosque de galería o ripario	79,90	0,69 %
Bosque denso	1548,30	13,33 %
Herbazal	2134,11	18,37 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	438,89	3,78 %
Vegetación de páramo y subpáramo	5934,51	51,08 %
Total	11 618,25	100,00 %

Bosque pluvial montano en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	821,71	5,91 %
Bosque denso	245,10	1,76 %
Herbazal	803,21	5,77 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	34,45	0,25 %
Vegetación de páramo y subpáramo	12 007,52	86,31 %
Total	13 911,99	100,00 %

Páramo pluvial subandino en el departamento del Cesar

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Vegetación de páramo y subpáramo	7006,69	100,00 %
Total	7006,69	100,00 %

Fuente: elaboración propia.