

Propuesta de
***Protocolo para la estimación integral de contenidos
de carbono y biodiversidad en humedales del
Magdalena Medio y Bajo***

Anexo 3. Estimación de contenidos de carbono asociados a la
vegetación hidrófita de humedales del Magdalena Medio y Bajo:
el Complejo Cenagoso de Zapatosa

Yennifer García-Murcia
Profesional Biomasa y MOM



Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo

Ecopetrol S.A

Santiago Martínez Ochoa
 Xiomara Sanclemente Manrique
 Lorena Ortiz Melo
 Maria Juliana Salcedo Hernández
 Adriana Velandia Valero
 Jorge Gaviria Chicuasaque
 Apoyo técnico y Administrativo del
 Convenio Específico No. 3044288

Fundación Natura Colombia

Clara Ligia Solano Gutiérrez
 Directora ejecutiva

Nancy Vargas Tovar
 Subdirectora técnica

Lorena Franco Vidal
 Subdirectora técnica

Sandra Galán
 Subdirectora técnica

Mauricio Rosas Hurtado
 Jefe financiero y contable

Andrea Gutiérrez de Piñeres
 Jefe administrativa y de gestión
 humana

Eliana Marcela Garzón Fierro
 Jefe de comunicaciones

Gustavo Andrés Segura Clavijo
 Jefe de proyecto CO2 Humedales

Autores

Equipo técnico CO₂ Humedales

Claudia Patricia Andramunio-Acero
 Profesional monitoreo de carbono
 Líder técnica del protocolo

Yesid Fernando Rondón-Martínez
 Profesional de apoyo transversal

Yennifer García-Murcia
 Profesional de biomasa y materia
 orgánica muerta

Yenny Beatriz Mendoza Plazas
 Profesional de suelos y sedimentos

Mónica Tatiana López-Muñoz
 Profesional de biodiversidad

Lina María Parada Alzate
 Profesional SIG agua y biodiversidad

Jhenny Liliana Salgado Vásquez
 Profesional estadístico y gestión de la
 información

Luis Alfredo Moreno-Pérez
 Profesional de apoyo local

Patricia Téllez Guio
 Sidney Adriano Pérez Villegas
 Profesionales SIG Datos de Actividad

Colaboradores técnicos

José Andrés Posada-García
 Nathalie Morales García
 Javier Sunyer MacLennan
 Liliana Ospina Calle
 Carolina Bustamante-Gil
 Osvar Cupitra Gómez
 Santiago Cañón Escobar
 Profesionales de campo y análisis

Michelle Hernández Fernández
 Crithian Alfonso Pimiento Ordóñez
 Luz Patricia Hernández Arango
 Sandra Milena Palacio Taborda
 Nicolas Romero-Peña
 Profesionales Fundación Natura de
 apoyo en el proceso de formulación e
 implementación

Colaboradores locales

Francisco Villalobos Ríos
 Danilson Segovia Zambrano
 Rodolfo Segovia Daza
 Vicente Buitrago Segovia
 Deibis Armando Martínez Martínez
 Omaidá Rangel Rangel
 Genaro Madrid Álvarez
 Alvenis Carpio Castro
 Elvin Dewin Cabarcas Monterrosa
 Jorge Adolfo Rangel Piñeres
 Jaider Guerra Guillen
 Celso Moreno Mejía
 Fabio Moreno Mejía
 Omar Antonio Morales Hurtado
 Teobaldo Cervantes Cadena
 Edilso Iglesia Machado

Edición

Danyth Janneth Fandiño Lerma
 Líder de comunicaciones CO2
 Humedales

Diego Alejandro Quintero Candela
 Lina Daniela Mutis Prado
 Diseño gráfico

Andrea Julieth Castellanos Leal
 Diagramación

Claudia Campos Roza
 Corrección de estilo

Alejandro Peña García
 José Manuel Pantoja Surmay
 Fotografías

Cítese como:

Andramunio-Acero, C., Rondón-Martínez, Y., García-Murcia, Y., Mendoza, Y., López-Muñoz, M., Parada, L., Salgado, J., Moreno-Pérez, L., Téllez, P. y Pérez, S. (2024). Propuesta de *Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo*. Fundación Natura Colombia, Ecopetrol S. A.

ISBN digital: en trámite

Aviso legal

© Fundación Natura Colombia
 Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión del contenido de este documento para fines educativos u otros fines no comerciales, con previa autorización de los titulares de los derechos de autor y citando la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

Esta publicación se realizó en el marco del Proyecto CO2 Humedales, Convenio Específico No. 3044288 entre Fundación Natura Colombia y Ecopetrol S.A.

INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta la estimación de los contenidos de carbono asociados a la biomasa viva y muerta (Materia Orgánica Muerta-MOM), a partir de la información recopilada en el piloto de validación de la propuesta de *Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo*¹ realizado en el Complejo Cenagoso de Zapatosa (CCZ) durante las temporadas seca y de lluvias. El piloto se desarrolló en 24 zonas de muestreo definidas para los compartimientos de biomasa y suelos²

En primer lugar, se muestran los resultados de la estimación de los componentes vegetación acuática y MOM, teniendo en cuenta la estacionalidad a la cual se encuentra sujeto el ecosistema, con variaciones entre la temporada seca y la de lluvias. Por otro lado, los componentes arbóreo, arbustivo y herbáceo se consideran estables durante el año de medición y, por tanto, se establece un único valor para ellos. Finalmente, la estimación de contenidos de carbono asociados a biomasa viva y muerta se presenta como la suma de todos los componentes; y para estimar los contenidos asociados a la vegetación acuática y la MOM se toma en cuenta el promedio de las dos temporadas para determinar un valor único.

RESULTADOS

BIOMASA VIVA

Esta biomasa incluye los componentes arbóreo, arbustivo, herbáceo y vegetación acuática.

LA VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA (CCZ)

Un componente importante de la vegetación hidrófita asociada a humedales continentales, como el CCZ, es la vegetación acuática, que se caracteriza por su dependencia de estos ecosistemas para su crecimiento y desarrollo. De

¹ De aquí en adelante, este documento se nombra como propuesta de Protocolo.

² Para más información, consultar el Anexo 1: *Lineamientos estadísticos y de gestión de información para la creación e inclusión de indicadores en el proceso de estimación de contenidos de carbono en el Complejo Cenagoso de Zapatosa.*

acuerdo con Cortés Castillo y Rangel-Ch. (2013), su extensión está determinada por la hidrología, la superficie del espejo de agua, el caudal de inundación de los ríos y la estacionalidad asociada con la duración de la temporada de lluvias. De esta forma, la fluctuación en el nivel de la columna de agua propicia la desaparición y aparición de ambientes que esta vegetación coloniza de forma estacional. La estimación de este componente se realizó en coberturas de tipo humedal (AR-W, HAC-W, HM-W) y en otros sitios, como HM-OVL y HAC-Hz, que corresponden a zonas de transición; en las demás zonas no había presencia de este tipo de vegetación (Figura 1).



Figura 1. Contenido de carbono asociado a la vegetación acuática (tC/ha), piloto de validación en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

Los mayores valores de contenido de carbono se registraron durante la temporada de lluvias, con valores que oscilan entre 0,09 (HAC-Hz), 0,36 (AR-W), 0,39 (HM-OVL), 0,60 (HM-W) y 3,37 (HAC-W) tC/ha. Cortés Castillo y Rangel-Ch. (2013) mencionan que el número de comunidades de acuáticas flotantes y enraizadas es más alto durante la temporada de aguas en ascenso y altas.

En las zonas con valores entre 0,09 y 0,60 tC/ha (HAC-Hz, AR-W, HM-OVL, HM-W) predominaron comunidades acuáticas enraizadas (*Ludwigia helminthorrhiza*, *Ludwigia* sp., *Paspalum repens*, *Hymenachne amplexicaulis*) al momento del muestreo. García-M. y Andramunio-Acero (en preparación)

registraron contenidos de carbono orgánico para especies como *Ludwigia* sp. e *Hymenachne amplexicaulis* de 38 % y 44 %, respectivamente. En HAC-W, con 3,37 tC/ha, predominaron las comunidades acuáticas flotantes de rápido crecimiento (*Eichhornia crassipes*) para las que se encontraron valores de carbono orgánico de 48 % (García-M. y Andramunio-Acero, en preparación). Al respecto, Buxton et al. (1996) discuten sobre la importancia de sustancias como la lignina en las plantas, elemento necesario para la formación de estructuras de soporte y que tarda más tiempo en ser sintetizado en comparación con los demás componentes químicos de fibras vegetales. Así, plantas más maduras o de mayor porte, como *E. crassipes*, tienen más fibras y más lignina y, en consecuencia, mayor contenido de carbono en su biomasa.

BIOMASA MUERTA

LA MATERIA ORGÁNICA MUERTA (MOM)

Se registraron valores altos de MOM, particularmente durante la temporada seca, que se asocian con la dinámica natural del humedal continental (Figura 2). Estos valores se encontraron en los sitios OM-OVL, OM-F, OM-W (entre 38 y 41 tC/ha), seguidos de AR-W, AR-Hz, HAC-W y AR-F (con valores entre 10 y 21 tC/ha). Los menores valores se registraron en zonas con cobertura de pastizal y de cultivo (zonas con manejo de labranza, como OM-C y AR-C), que tienen valores de cero.

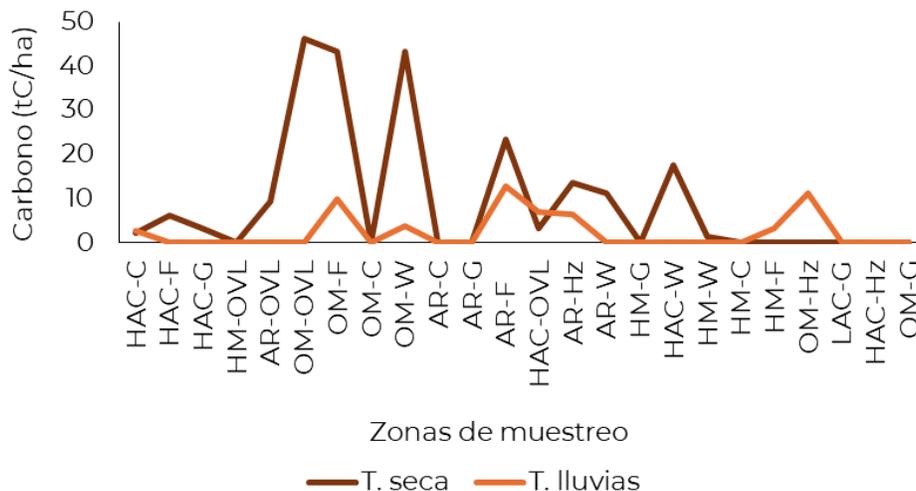


Figura 2. Contenido de carbono asociado a la materia orgánica muerta-MOM (tC/ha), piloto de validación CCZ. Fuente: elaboración propia (2024).

De acuerdo con Myers (2013), la caída de hojarasca en los bosques de este tipo de ecosistemas sigue un patrón estacional: un incremento inmediatamente

después de la temporada seca, cuando los árboles pierden sus hojas; y otro durante la temporada de lluvias, una vez que se han llenado de agua y se caen los peciolo muertos y los materiales del tallo (Figura 3).



Cobertura Forestal (F) en temporada seca



(F) en temporada de lluvias

Figura 3. Comparación de la caída de hojarasca en la cobertura forestal (F), durante el piloto de validación en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

En zonas aledañas a la cubeta de agua (coberturas tipo humedal, herbazal, OVL) es común encontrar materia orgánica proveniente de las macrófitas que se acumulan durante la temporada seca (Figura 4). Son varios los factores que influyen en la producción y acumulación de MOM: la composición de especies (tipo y edad de la cobertura vegetal), la topografía, condiciones del suelo, el efecto del viento y la composición química de la hojarasca y el mantillo. Estas condiciones afectan la tasa de descomposición y el aporte de carbono autóctono que eventualmente se puede depositar en el suelo.



Cobertura humedal (W), temporada seca



(W), temporada lluvias

Figura 4. Comparación de la acumulación de hojarasca en la cobertura de tipo humedal (W), durante el piloto de validación en el Complejo Cenagoso de Zapatos. Fuente: elaboración propia (2024). Fuente: elaboración propia (2024).

CONTENIDOS DE CARBONO ASOCIADOS A LA BIOMASA VIVA Y MUERTA EN EL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA

En esta parte se presentan los contenidos de carbono por componente evaluado en las zonas de muestreo y la diversidad de Shannon (H) registrada en cada una de ellas (Figura 5). Los valores más altos se encuentran principalmente en el componente arbóreo; también hay valores importantes de MOM, particularmente en zonas de transición entre la cubeta de agua y el bosque inundable (OM-W, OM-OVL), y en coberturas de tipo forestal (OM-F y AR-F). Los demás componentes tienen valores bajos. Adicionalmente, se muestra que hay una relación directa entre los valores más altos de contenido de carbono y la diversidad (índice de Shannon) registrada en cada zona.

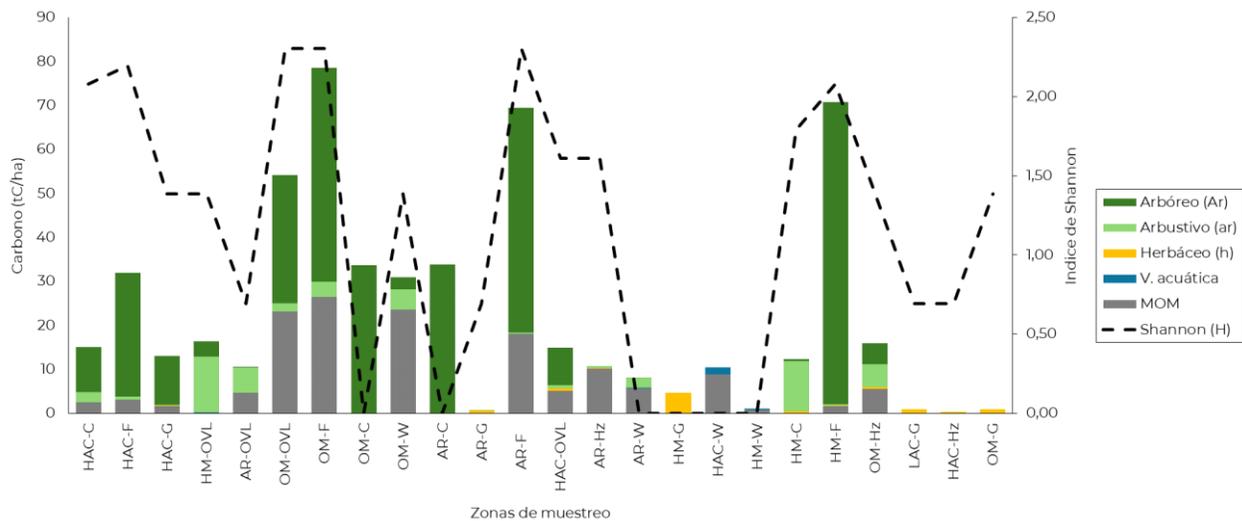


Figura 5. Contenido de carbono en biomasa total por componente evaluado y diversidad de Shannon (H), piloto de validación en el Complejo Cenagoso de Zapatos. Fuente: elaboración propia (2024).

tC/ha biomasa y MOM	
	0,00 - 1,08
	1,09 - 4,69
	4,70 - 10,72
	10,73 - 12,98
	12,99 - 16,35
	16,36 - 33,82
	33,83 - 78,62

Se establecieron siete categorías de contenidos de carbono para biomasa, con el fin de comparar los valores por tipo de cobertura. Esto se realizó con base en los valores totales obtenidos por zona de muestreo a partir del método de quiebres naturales de Jenks (Smith et al., 2021), que se explica más adelante. Los valores de cada categoría fueron: la categoría 1 corresponde a valores entre 0 y 1,08 tC/ha; la categoría 2, entre 1,09 y 4,69 tC/ha; la categoría 3, entre 4,70 y 10,72 tC/ha; la categoría 4, entre 10,73 y 12,98 tC/ha; la categoría 5, entre 12,99 y 16,35 tC/ha; la categoría 6, entre 16,36 y 33,82 tC/ha; y la categoría 7, entre 33,83 y 78,62 tC/ha (Tabla 1).

Tabla 1. Contenidos de carbono para biomasa, por categorías, para cada tipo de cobertura; piloto de validación en el Complejo Cenagoso de Zapatos.

Código	Cobertura	tC/ha	Categoría
C	Cultivos (sin labranza: naranja y plátano)	12 y 15	4 y 5
C	Cultivos (monocultivo palma africana)	33 y 34	6 y 7
F	Forestal	32 y 78	6 y 7
OVL	Otra vegetación leñosa	10 y 16, 44	3 y 6
G	Pastizal	0,84 y 13	1 y 5
Hz	Herbazal	10 y 16	3 y 5
W	Humedal	2 y 31	2 y 6

Fuente: elaboración propia (2024).

Los mayores valores se encuentran en las coberturas de tipo forestal, que también presentan los índices de diversidad más altos, seguidos de otra vegetación leñosa (OVL) y de los cultivos en donde predominan los componentes arbóreo y arbustivo (categorías 4 a 7). Valores bajos (categorías 1 a 3) se presentan en pastizales y herbazales en donde predomina la vegetación de porte herbáceo; estas coberturas también son las que presentan valores bajos de diversidad (índice Shannon). Adicionalmente, las coberturas de tipo forestal, OVL y humedal presentan valores importantes de MOM asociados con la dinámica estacional de acumulación descrita en secciones previas.

A continuación se presentan, por componente, los valores promedio y de error estándar (Tabla 2):

Tabla 2. Contenido de carbono asociado a biomasa en tC/ha por componente y cobertura, piloto de validación Complejo Cenagoso de Zapatos.

Componente	Cultivos	Forestal	OVL	Pastizal	Herbazal	Humedal
Arbóreo	19,50 ± 8,62	49,25 ± 8,39	10,25 ± 6,46	2,20 ± 2,20	1,67 ± 1,67	0,75 ± 0,75
Arbustivo	3,25 ± 2,63	1,00 ± 0,71	5,50 ± 2,72	0	1,67 ± 1,67	1,75 ± 1,18
Herbáceo	0	0	0,25 ± 0,25	1,60 ± 0,87	0	0
Vegetación acuática	0	0	0	0	0	0,50 ± 0,50
MOM	0,50 ± 0,50	12,50 ± 6,06	8,25 ± 5,06	0,40 ± 0,40	5,33 ± 2,91	10,00 ± 4,95

Fuente: elaboración propia (2024).

A manera de síntesis, se presentan los valores promedio y de error estándar de los depósitos de carbono de cada una de las coberturas estimadas en el CCZ (Figura 6).

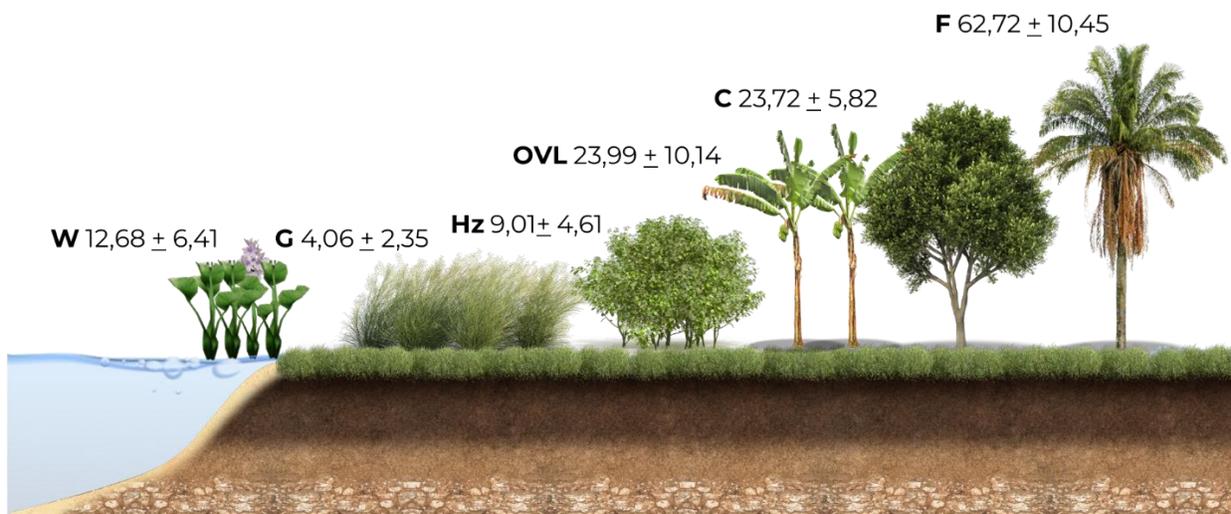


Figura 6. Depósito de carbono para cada una de las coberturas estimadas, piloto de validación en el Complejo Cenagoso de Zapatosa (W: humedal, G: Pastizal, Hz: herbazal, OVL: otra vegetación leñosa, C: cultivos, F: forestal). Fuente: elaboración propia (2024).

La vegetación del CCZ supone un depósito de carbono con valores asociados con el grado de intervención antrópica al que se encuentra sujeto el ecosistema. En este sentido, vale la pena resaltar el papel de la vegetación como elemento estructurador del ecosistema desde la cubeta de agua (en donde se encuentran coberturas de tipo humedal), pasando por las zonas de transición (coberturas de pastizal, herbazal y OVL), hasta los bosques inundables (cobertura forestal), que contribuye al mantenimiento de la dinámica hídrica, entre otros servicios ecosistémicos que presta. Así, la vegetación de este ecosistema se torna relevante en el contexto de cambio

climático, ya que permite determinar, a mediano y largo plazo, el impacto producido por alteraciones relativa a cambios de uso del suelo, que se traducen en afectaciones en la dinámica de secuestro y depósito de carbono y su papel en la mitigación y adaptación al cambio climático.

De acuerdo con Bedard-Haughn et al. (2006) y Paredes-García et al. (2021), la vegetación contribuye a la producción y acumulación de materia orgánica autóctona que eventualmente puede depositarse en el suelo, lo que promueve el secuestro de carbono en el ecosistema. En este sentido, se torna relevante estimar el contenido de carbono en el compartimiento de MOM, teniendo en cuenta los siguientes factores: (i) su dinámica estacional; (ii) las condiciones que intervienen en la descomposición de la materia orgánica, como las características estructurales de la especie; (iii) los factores ambientales, como las comunidades microbiológicas, la concentración de nutrientes en el agua, la temperatura, el pH y la profundidad (Hernández, 2010; Pfeifer et al., 2015). Hay que añadir las variaciones en el nivel freático y el arrastre de sedimentos asociados con la dinámica estacional, que contribuyen a la entrada y salida de carbono del ecosistema.

El análisis y el reporte de este compartimiento permiten también evidenciar el grado de intervención. Al respecto, Pfeifer et al. (2015) discuten sobre un incremento en los valores estimados de este depósito en coberturas boscosas con un fuerte grado de intervención, situación que se puede explicar por las acciones de tala y quema que contribuyen a la caída de material muerto y a la formación de hojarasca y mantillo; sin embargo, este es un proceso que requiere mayores datos e información para llegar a conclusiones más concretas.

MAPA DE CONTENIDOS DE CARBONO ASOCIADOS A BIOMASA Y MOM EN EL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA

Con los datos de contenido de carbono asociados a biomasa y MOM se generó el mapa en el que se asignaron los valores totales a los polígonos correspondientes a las diferentes clases de zonas de muestreo (actividad realizada por el profesional SIG) (Figura 7).

Para esto fue necesario realizar una clasificación de los valores a partir del método de quiebres naturales de Jenks, con el fin de organizar esta información de forma sistemática y ordenada en rangos de valores. Este

método se basa en agrupaciones naturales inherentes a los datos, y de esta forma el algoritmo crea rupturas de clase en donde valores similares se agrupan mejor y se maximizan las diferencias entre clases; así, los límites se establecen donde hay diferencias considerables entre los valores (Smith et al., 2021). La aplicación de este método facilitó la interpretación y el análisis de los valores; para este caso, cada valor representa la cantidad de carbono almacenado por unidad de área o volumen en la región respectiva. Esta asignación permite visualizar la distribución espacial del carbono en la biomasa, lo que es fundamental para comprender su variabilidad en el ecosistema (L. Parada-Alzate, comunicación personal, 4 de abril de 2024).

El mapa muestra el evidente grado de intervención, en particular en las zonas en inmediaciones a la superficie de agua, que corresponde a la vegetación de transición que, como se mencionó anteriormente, cumple un papel importante en el ecosistema. Por eso, es necesario implementar medidas urgentes en pro de su rehabilitación y recuperación. En general, en todo el complejo predominan valores bajos y solo se observan dos sectores con áreas bastante reducidas en donde se presentan los valores más altos: al norte hacia Chiriguaná, en cercanías a Ciénaga Limpia y Ciénaga Los Mosquitos, y en el costado oriental hacia Curumaní. Esto ratifica la necesidad de promover acciones de conservación y de manejo sostenible y de fortalecer las acciones de restauración que se vienen adelantando en el CCZ.

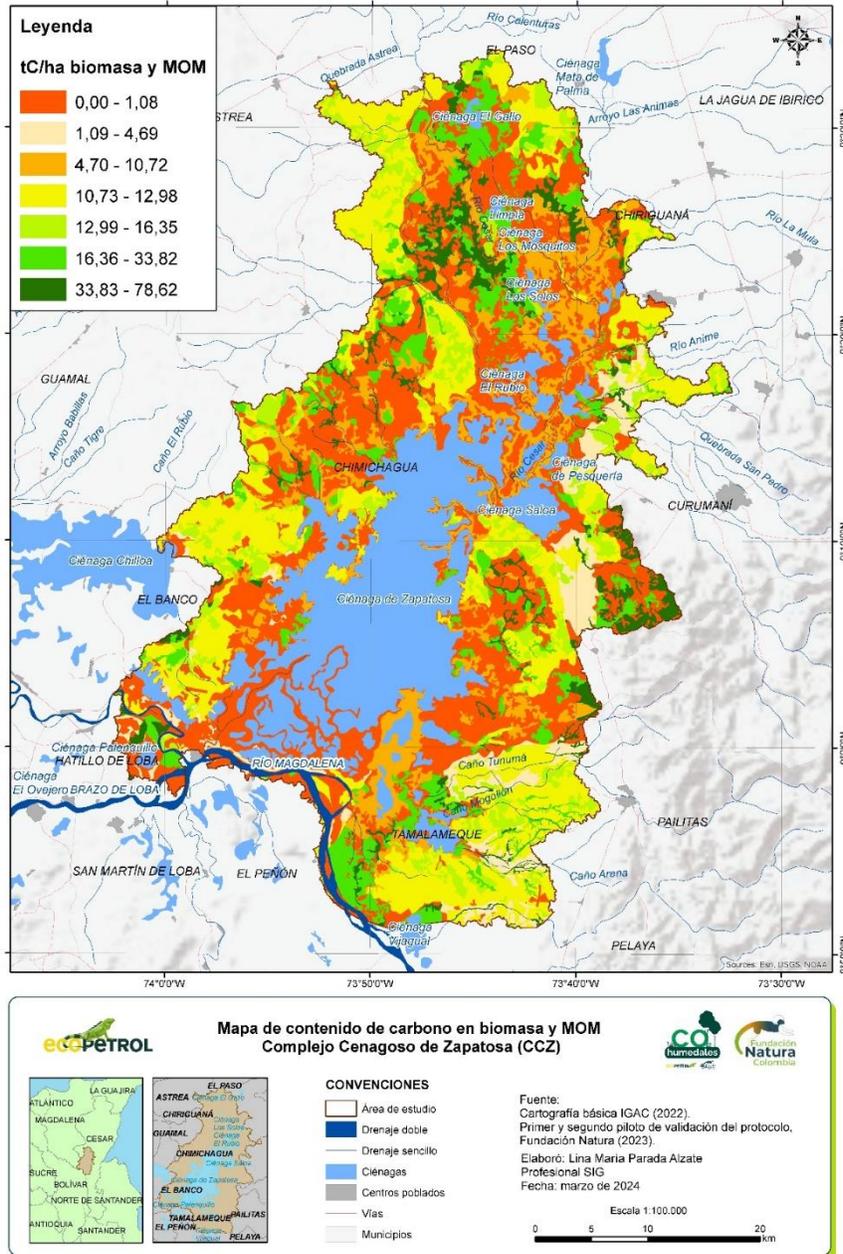


Figura 7. Mapa de contenido de carbono en biomasa y MOM, piloto de validación en el Complejo Cénagoso de Zapatoza. Fuente: profesional SIG (2024).

CONTENIDOS DE CARBONO DE BOSQUES INUNDABLES DEL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA Y OTROS ECOSISTEMAS

La cobertura forestal del CCZ presenta contenidos de carbono de $62,72 \pm 10,45$ tC/ha, en donde predomina el estrato subarbóreo; las especies más representativas son *Guazuma ulmifolia*, *Ruprechtia ramiflora*, *Tabebuia rosea* y *Vochysia lehmannii*, junto con los palmares de *Attalea butyracea*. En general, esta cobertura se caracteriza por sufrir fuertes presiones asociadas con la tala

para extracción de madera y quema, situación que se evidencia particularmente en cercanías a los municipios de Chimichagua y Tamalameque.

Los contenidos de carbono son menores a los registrados por Catel et al. (2013) en el complejo cenagoso (95,49 tC/ha) y a los de otros ecosistemas de bosques inundables y bosques secundarios. Por ejemplo, en bosques secundarios intervenidos de Costa Rica se registraron valores de 92.4 ± 11.3 (Ibrahim et al., 2007); en bosques secundarios de Brasil los valores fueron de $94,25 \pm 6,54$ (Dantas et al., 2021); y en bosques ribereños con paisajes ganaderos en Colombia fueron de 158.73 ± 12.5 (Ibrahim et al., 2007) (Tabla 3). Dichos valores evidencian la alarmante reducción de la capacidad de depósito de la vegetación en el CCZ debida a la presión a la cual está sujeto el ecosistema.

Tabla 3. Contenidos de carbono (tC/ha) en coberturas forestales obtenidos en el piloto de validación del Complejo Cenagoso de Zapatosa y de diferentes localidades a escala nacional e internacional.

Localidad	Temperatura promedio (°C)	Precipitación (mm/año)	Carbono (tC/ha)	Fuente
Cobertura forestal en el CCZ	26	1400-2200	$62,72 \pm 10,45$	Este ejercicio
Bosques de ribera en paisajes ganaderos de Colombia	20,9-22,3	1800-2100	$158,73 \pm 12.5$	Ibrahim et al. (2007)
Bosques secundarios intervenidos en Costa Rica	27,2	2043	$92,4 \pm 11.3$	Ibrahim et al. (2007)
Bosques secundarios en Brasil	14,4-22,5	1511	$94,25 \pm 6,54$	Dantas et al. (2021)

Fuente: elaboración propia (2024).

La capacidad de almacenar carbono por parte de estos ecosistemas varía en función de la composición florística, la abundancia de la población y su estado de conservación, entre otras consideraciones. En este sentido, vale la pena considerar un incremento en la composición florística (con actividades de restauración ecológica) que le permitan a estos ecosistema recuperar su capacidad de almacenamiento de carbono.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta un listado de especies de particular interés para adelantar o fortalecer los procesos de restauración ecológica que se vienen adelantando en el complejo cenagoso y su relevancia en el contexto de cambio climático. Este listado considera su potencial de captura de carbono

en el ecosistema, según los datos obtenidos en este proceso de validación: área basal promedio, índice de valor de importancia (IVI), índice de predominio fisionómico (IPF), densidad de madera y el promedio de contenido de carbono en tC/ha (Tabla 4).

Tabla 4. Especies priorizadas para adelantar procesos de restauración (en gris las especies más importantes).

Estrato	Especie	Á_basal prom (m ²)	IVI (%)	IPF (%)	Dens. madera (g/cm ³)	C prom (tC/ha)
Arbustivo	<i>Bactris guineensis</i>	8267,11	35,09	39,32	N/A	0,73
	<i>Bactris brongniartii</i>	null	3,80	9,40	N/A	0,07
	<i>Attalea butyracea</i>	null	2,01	0,93	N/A	0,08
	<i>Myrcia</i> aff. <i>guianensis</i>	112,40	9,07	12,97	0,80	0,15
	<i>Inga</i> cf. <i>nobilis</i>	37,91	1,83	2,39	0,56	0,50
	<i>Lonchocarpus punctatus</i>	null	2,90	1,80	0,77	0,77
	<i>Ruprechtia ramiflora</i>	101,68	5,99	7,71	0,64	0,39
	<i>Symmeria paniculata</i>	null	0,88	0,33	0,64	0,05
Subarbóreo	<i>Bactris guineensis</i>	11 078,06	12,87	12,40	N/A	2,68
	<i>Attalea butyracea</i>	2090,08	17,20	23,17	N/A	2,82
	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	300,50	3,15	4,24	0,52	1,15
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	199,25	8,76	12,40	0,53	0,45
	<i>Tabebuia rosea</i>	259,93	5,08	2,77	0,55	1,17
	<i>Ruprechtia ramiflora</i>	204,06	2,84	4,70	0,64	0,64
Arbóreo inferior	<i>Albizia niopoides</i>	1005,34	12,42	17,29	0,56	0,09
	<i>Vochysia lehmannii</i>	365,48	19,14	19,25	0,44	2,12
	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	336,54	12,14	8,51	0,52	2,2
	<i>Xylopia aromatica</i>	217,78	8,39	5,60	0,55	1,85

Fuente: elaboración propia (2024).

Las especies más representativas son *B. guineensis*, que está tanto en el estrato arbustivo como en el subarbóreo, y presenta los valores de IVI e IPF más altos (entre 35 % y 39 %). Otras especies de particular interés están en el estrato arbustivo: *Inga* cf. *nobilis* (valores de IVI e IPF entre 1,83 % y 2,39 %) y *Ruprechtia ramiflora* (valores de IVI e IPF entre 5,99 % y 7,71 %). En el estrato subarbóreo se encuentran *Attalea butyracea* (valores de IVI e IPF entre 17,20 % y 23,17 %), *Tabebuia rosea* (valores de IVI e IPF entre 5,08 % y 2,77 %). En el estrato arbóreo inferior destacan *Vochysia lehmannii* (19,14 % y 19,25 %), *P. guachapele* (12,14 % y 8,51 %) y *X. aromatica* (8,39 % y 5,60 %).

Finalmente, uno de los grandes retos a la hora de realizar estimaciones del contenido de carbono asociado a la biomasa en cualquier ecosistema es disminuir la incertidumbre asociada. Una aproximación de fácil aplicación es

calcular la incertidumbre relativa, revisando el error estándar asociado a los datos y presentar su valor en términos de porcentaje. Para el caso particular de la cobertura forestal se realizó este ejercicio como una aproximación básica, y se obtuvo una incertidumbre relativa de 16,6 %; sin embargo, en el Anexo 4 se presentan los valores de incertidumbre según el planteamiento metodológico descrito en la sección “Incertidumbre asociada a estimaciones de contenidos de carbono en los compartimientos de biomasa y suelos”, para los compartimientos de biomasa, MOM y suelos de la propuesta de Protocolo.

CONCLUSIONES

Los componentes vegetación acuática y MOM presentan variaciones en los contenidos de carbono entre las temporadas seca y de lluvias de acuerdo con la estacionalidad a la cual se encuentra sujeto el ecosistema. La fluctuación en el nivel de la columna de agua propicia la desaparición y aparición de ambientes sobre los que la vegetación acuática puede colonizar. Por su parte, la MOM presenta un incremento inmediatamente después de la temporada seca, durante la cual se acumula materia orgánica proveniente de las macrófitas en zonas aledañas a la superficie de agua (de transición) y en las coberturas forestales, cuando los árboles pierden sus hojas y los peciolo muertos caen al suelo.

En este ejercicio de validación se consideró importante estimar el contenido de carbono asociado al depósito de MOM mediante mediciones que tuvieron en cuenta la dinámica estacional propia del ecosistema, ya que esta constituye una medida indirecta de su grado de intervención y de la dinámica de producción de carbono autóctono que eventualmente puede depositarse en el suelo.

La vegetación del CCZ supone un depósito de carbono con valores bajos asociados con el grado de intervención antrópica al que se encuentra sujeto el ecosistema, en particular en las zonas localizadas en las inmediaciones de la superficie de agua, que corresponden a la vegetación de transición y a las coberturas de tipo forestal. Esto evidencia la alarmante situación en la que se encuentra el CCZ, lo que hace imperativo implementar medidas urgentes en pro de su rehabilitación y recuperación, para mejorar su capacidad como reservorio o depósito de carbono.

Al respecto, vale la pena recalcar que esta capacidad varía en función de la composición florística, la abundancia de la población, los valores de riqueza y diversidad y, por supuesto, el estado de conservación del ecosistema.

RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan algunas recomendaciones del proceso adelantado en cada una de las etapas definidas en la propuesta de Protocolo para la estimación de contenidos de carbono en humedales del Magdalena Medio y Bajo (etapa de premuestreo, muestreo y análisis).

PREMUESTREO

+ Proceso de homologación

Aunque para este ejercicio se usó el sistema de coberturas empleado por el IPCC³, estas comprenden categorías muy gruesas, mientras que el sistema de coberturas utilizado a escala de país (CLC) es bastante detallado. Por eso, vale la pena pensar en generar unas nuevas categorías que eventualmente puedan ser validadas por el IPCC y que puedan ser usadas a escala de país para los reportes; por ejemplo, para esta propuesta de Protocolo fue necesario incluir dos categorías que no están contempladas en este sistema, por no tener una correspondencia clara: los herbazales (Hz) y otra vegetación leñosa (OVL), las cuales fueron tomadas del protocolo AFOLU para alta montaña (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2022).

En este sentido, podría hacerse el mismo ejercicio para separar coberturas importantes, como las tierras forestales, en donde se incluyen plantaciones forestales, y considerar aparte los bosques abiertos inundables y los bosques de galería, que están dentro de la misma categoría de tierras forestales.

Lo mismo ocurre con las tierras de cultivo, ya que no es lo mismo el reporte de contenidos de carbono para un cultivo permanente (p. ej., los cultivos de palma africana registrados en la ventana piloto) que para un cultivo transitorio (como cultivos de naranja o plátano), en donde la temporalidad varía, condición a tener en cuenta en los reportes.

+ Selección de zonas de muestreo (ZM)

³ Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.

Es necesario adelantar una verificación previa de las ZM definidas para verificar que no estén incluidas en los reportes nacionales, principalmente en lo relacionado con las coberturas tipo bosque (forestal) y, así, evitar dobles cuantificaciones. Además, esto sirve para confirmar el acceso a la ZM definida, pues si este no es posible, se debe seleccionar otra zona mediante el muestreo aleatorio estadístico descrito en la propuesta de Protocolo.

┆ Selección del tamaño de parcela

Para seleccionar el tamaño de la parcela se recomienda adelantar un proceso previo de verificación de las ZM en campo y definir el grado de intervención antrópica al que está sujeto el ecosistema de interés. En este caso, se recomienda utilizar el tamaño de parcela de la presente ventana de validación (500 m²) para ecosistemas con alto grado de intervención; para ecosistemas más conservados se puede emplear una parcela de mayor tamaño (1000 m²).

MUESTREO

┆ Frecuencia de muestreo

Para ecosistemas como los humedales continentales, asociados a planos de inundación, que es el caso de la ventana piloto de validación de esta propuesta de Protocolo, y que están sujetos a estacionalidad, se recomienda realizar el muestreo en al menos las dos temporalidades contrastantes (temporada seca y de lluvias), para los componentes de vegetación acuática y MOM, que tienen una variación significativa asociada con esta temporalidad.

Sin embargo, no siempre es posible realizar el muestreo de la vegetación acuática, dado que, si durante el año de muestreo no se presenta una inundación marcada, es muy probable que este componente no se encuentre o esté representado con valores mínimos. Es por esta razón que se deja como una medición de nivel complementario; en otras palabras, no es obligatorio adelantar su muestreo.

Los componentes arbóreo, arbustivo y herbáceo se consideran estables en el año de muestreo; por tanto, se recomienda adelantar una sola medición para garantizar el costo-efectividad del proceso.

┆ Compartimiento MOM

En la propuesta de este Protocolo se definió el muestreo de la MOM asociada únicamente a la hojarasca y al mantillo; sin embargo, se recomienda validar

previamente en campo si es necesario incluir otros componentes, como madera muerta (en pie o caída), principalmente para las coberturas de tipo forestal. En caso de que estos componentes tengan una representación significativa en la parcela (cobertura superior al 50 %), se debe adelantar el proceso de toma de estas muestras, para lo cual se recomienda consultar la metodología descrita por Yepes et al. (2011).

† Equipos

Para el muestreo de la biomasa, en ocasiones es necesario realizar largos desplazamientos para llegar a la ZM. Por esta razón, se sugiere desplazarse con los equipos estrictamente necesarios y verificar la posibilidad de reemplazar un equipo grande o de mayor peso (como una balanza de precisión) por uno portátil que cumpla la misma función. Esto para evitar desgastes físicos innecesarios por parte del equipo de trabajo que realiza el muestreo.

ANÁLISIS

† Empleo de método indirecto

Para la selección de ecuaciones alométricas para estimar biomasa, se recomienda adelantar una identificación taxonómica de las especies lo más detallada posible (a nivel de género y especie), con el fin de seleccionar las ecuaciones adecuadas (especie o género específicas). Esto permitirá generar a mediano y largo plazo una base de datos con información para estimar contenidos de carbono de especies forestales asociadas a los humedales del Magdalena Medio y Bajo.

† Compartimientos

Se recomienda siempre adelantar el muestreo de los compartimientos de biomasa y MOM junto con el de suelos y sedimentos, en las mismas parcelas, con el fin de establecer relaciones entre los contenidos de carbono de estos compartimientos y reducir la incertidumbre asociada a los datos. Adicionalmente, se sugiere, en lo posible, adelantar el muestreo para la identificación de factores de emisión (FE) en diferentes tiempos y en las mismas parcelas de la estimación inicial, para disminuir la incertidumbre.

BIBLIOGRAFÍA

- Bedard-Haughn, A., Jongbloed, F., Akkerman, J., Uijl, A., de Jong, E., Yates, T. y Pennock, D. (2006). The effects of erosional and management history on soil organic carbon stores in ephemeral wetlands of hummocky agricultural landscapes. *Geoderma*, 135, 296–306. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.01.004>
- Buxton, D. R., Redfearn, D. D. y Lilly, E. (1996). *Conference: New Developments in Forage Science Contributing to Enhanced Fiber Utilization by Ruminants Plant Limitations to Fiber Digestion and Utilization 1 digestibility more rapidly with increasing plant maturation*. American Society for Nutritional Sciences. [https://jn.nutrition.org/article/S0022-3166\(22\)07419-3/pdf](https://jn.nutrition.org/article/S0022-3166(22)07419-3/pdf)
- Catel, F., Rangel-Ch., J. O. y Avella, A. (2013). Biomasa aérea en los bosques alrededor de la ciénaga de Zapatosa y del Sur del departamento del Cesar. En J. O. Rangel-Ch. (Ed.), *Colombia Diversidad Biológica XIII. Complejo cenagoso Zapatosa y ciénagas del Sur del Cesar. Biodiversidad, conservación y manejo: Vol. XIII*. pp. 651 - 667. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Corpocesar.
- Cortés Castillo, D. y Rangel-Ch., J. O. (2013). Vegetación acuática y de pantano de las ciénagas del departamento del Cesar (Colombia). En J. O. Rangel-Ch. (Ed.), *Colombia Diversidad Biológica XIII. Complejo cenagoso Zapatosa y ciénagas del sur del Cesar: Vol. XIII*, pp. 331-354. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales.
- Dantas, D., Nunes Santos, M., Rodrigues Pinto, L., Calegario, N. y Mandarano Maciel, S. (2021). Above and belowground carbon stock in a tropical forest in Brazil. *Acta Scientiarum*, 43, 1-13. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.48276>
- García-M. y Andramunio-Acero, C. (2024). *Fracciones de carbono para herbáceas, vegetación acuática y materia orgánica muerta, para la estimación de contenidos de carbono en humedales continentales: El Complejo Cenagoso de Zapatosa* [manuscrito pendiente de publicación].
- Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 139–147.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F. y Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Avances de Investigación*, 45, 27–36.

- Myers, R. L. (2013). Producción y descomposición de hojarasca en humedales dominados por palmas (Arecaceae) en el noreste de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 87-99.
- Paredes-García, S. S., Moreno-Casasola, P., de la Barrera, E., García-Oliva, F. y Lindig-Cisneros, R. (2021). Biomasa y carbono almacenado en un humedal continental en Cuitzeo, Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(2), 416–441. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-02-09>
- Pfeifer, M., Lefebvre, V., Turner, E., Cusack, J., Khoo, M. S., Chey, V. K., Peni, M. y Ewers, R. M. (2015). Deadwood biomass: An underestimated carbon stock in degraded tropical forests? *Environmental Research Letters*, 10(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/4/044019>
- Smith, M., Goodchild, M. y Longley, P. (2021). *Geospatial Analysis A Comprehensive Guide to Principles Techniques and Software Tools* (6th ed.). Winchelsea Press.
- 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-IDEAM.