



DOCUMENTO METODOLÓGICO

SECTOR AFOLU

BCRo007 Conservación y restauración
de humedales naturales continentales

BIOCARBON CERT[®]

VERSIÓN 1.0 | 13 de junio de 2024



BIOCARBON CERT®, FUNDACIÓN NATURA COLOMBIA, ECOPETROL. 2024. DOCUMENTO METODOLÓGICO SECTOR AFOLU. BCR0007. Conservación y restauración de humedales naturales continentales. Versión 1.0. 13 de junio de 2024. 79 p. <http://www.biocarbonstandard.com>

© 2024 BIOCARBON CERT. Todos los derechos reservados. Este documento metodológico puede ser usado únicamente para proyectos que se certifiquen y registren con BIOCARBON CERT. Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización expresa de BIOCARBON CERT.



Créditos

El presente documento metodológico fue desarrollado por Ángela Duque y el equipo técnico del proyecto CO₂ Humedales de la Fundación Natura, en el marco del convenio No. 3044288 firmado entre Ecopetrol y Fundación Natura.

El proyecto CO₂ Humedales tiene por objeto aunar esfuerzos para la conservación y restauración de ecosistemas tropicales de bosques a nivel nacional y de humedales naturales continentales del Magdalena medio y bajo, así como la formulación e implementación de acciones para la mitigación de las emisiones de GEI generadas por evitar la degradación de estos ecosistemas.

Tabla de contenido

1	Introducción.....	9
2	Propósito	10
3	Versión y vigencia	10
4	Alcance.....	10
5	Condiciones de aplicabilidad	11
6	Referencias normativas	12
7	Términos y definiciones.....	12
8	Límites del proyecto.....	20
8.1	Límites espaciales	20
8.1.1	Áreas elegibles	20
8.1.1.1	Áreas elegibles para la implementación de las actividades de restauración..	20
8.1.1.2	Áreas elegibles para la implementación de actividades de conservación	21
8.1.2	Área de fugas	21
8.1.3	Región de referencia	22
8.2	Depósitos de carbono y fuentes de GEI	23
8.2.1	Depósitos de carbono	23
8.2.2	Fuentes de GEI.....	25
8.3	Límites temporales y periodos de cuantificación.....	26
9	Caracterización de los humedales naturales continentales.....	26
9.1	Evaluación de la información hidrometeorológica.....	26
9.1.1	Obtención de la información	26
9.1.2	Análisis de errores sistemáticos	27
9.1.3	Análisis de datos anómalos o proceso de control de calidad de los datos.....	27
9.1.4	Análisis de periodos consistentes y homogéneos	27
9.1.5	Procesamiento de la información	28
9.1.6	Llenado de datos faltantes	28
9.1.7	Modelación hidrológica	28
9.1.8	Espacialización de la información	28
9.1.9	Análisis de variables fisicoquímicas.....	29

9.1.10	Áreas de muestreo	30
9.1.11	Muestreo en campo y análisis de la información.....	30
9.1.12	Tratamiento de la información	30
10	Caracterización de la biodiversidad	31
10.1	Muestreo en campo	31
10.1.1	Fase de campo macrófitas.....	33
10.1.2	Fase de campo vegetación de planos de inundación	34
10.1.3	Identificación taxonómica de las muestras.....	34
10.2	Análisis de la información de Macrófitas	35
10.3	Análisis de la información para la vegetación de planos de inundación	36
10.3.1.1	Composición florística.....	37
10.3.1.2	Diversidad florística.....	38
10.4	Análisis estadístico	39
11	Identificación del escenario de línea base y adicionalidad	40
12	Identificación de motores de transformación	40
13	Actividades del proyecto	43
13.1	Actividades de conservación.....	43
13.2	Actividades de restauración.....	44
14	Estimación de las reservas de carbono.....	45
14.1	Delimitación del área del proyecto y análisis multitemporal	45
14.2	Estratificación de las coberturas naturales en el área del proyecto.....	47
14.3	Diseño de muestreo en campo	49
14.3.1	Tamaño de las parcelas o unidades de muestreo	49
14.3.2	Tamaño de la muestra	50
14.3.3	Localización de las parcelas en sitio.....	52
14.4	Estimación del contenido de carbono en la biomasa y en el suelo	52
14.4.1	Variables para la estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea, subterránea y materia orgánica.....	52
14.4.2	Estimación de las cantidades de biomasa a partir de métodos indirectos	53
14.4.2.1	Biomasa aérea arbórea (B_{ARA})	53
14.4.2.2	Biomasa arbórea subterránea o radicular (B_{ARS})	54

14.4.3	Estimación de la biomasa a partir de métodos directos	54
14.4.3.1	Biomasa no arbórea aérea (B_{NAA})	54
14.4.3.2	Biomasa no arbórea subterránea (B_{NAS})	54
14.4.3.3	Biomasa presente en la hojarasca (B_{MOM} – Biomasa Materia Orgánica Muerta)	55
14.4.3.4	Biomasa total (B_T)	55
14.4.4	Estimación del contenido de carbono orgánico en el suelo	56
14.4.4.1	Contenido de carbono en suelos	57
	Carbono orgánico del suelo (COS)	57
	Materia orgánica del suelo (MOS)	59
14.4.5	Estimación de la biomasa en los componentes asociados a biodiversidad	60
15	Manejo de la incertidumbre	61
15.1	Diferencia entre dos estimaciones de las reservas de carbono	61
15.2	Estimación directa del cambio mediante una nueva medición de las parcelas de muestreo	62
16	Cuantificación de la reducción de emisiones	64
16.1	Datos de actividad	64
16.1.1	Cambios en cobertura vegetal natural (CSC)	65
16.2	Factores de emisión	67
16.2.1	Emisiones en el escenario de línea base	68
16.2.1.1	Emisiones por cambios en las reservas de carbono en la biomasa (BLB, t) ..	68
16.2.1.2	Emisiones por cambios en las reservas de carbono en el suelo ($\Delta CLB, SUELO, t$)	69
16.2.1.3	Emisiones por cambios en las reservas de carbono en la biodiversidad ($\Delta CBIOLB, t$)	69
16.2.1.4	Emisiones debidos a la presencia de fuego, CO_2 y otros GEI ($ELB, fuego, t$)	70
	Por combustión de biomasa leñosa	70
	Emisiones CO_2 y otros GEI por incendios en suelos orgánicos drenados	71
16.2.1.5	Emisiones de N_2O por el uso de fertilizantes ($ELB, fert, t$)	72
16.2.1.6	Emisiones en el área de fugas ($CSCAF, LB$)	73
16.2.2	Estimación de la reducción de emisiones en el escenario con proyecto (REP) ..	74
16.2.2.1	Emisiones en el escenario de línea base (ELB)	74

16.2.2.2	Emisiones en el escenario con proyecto (EP)	75
	Área del proyecto.....	75
16.2.2.3	Área de fugas.....	77
16.2.2.4	Cuantificación de la reducción de emisiones generada por la implementación de las actividades de conservación	77
16.2.2.5	Estimación de los resultados de reducción y remoción de las actividades del proyecto	78
17	Plan de monitoreo	78

Listado de tablas

Tabla 1.	Depósitos de carbono	23
Tabla 2.	Selección de los depósitos de carbono.....	24
Tabla 3.	Fuentes de emisión y GEI, en el escenario de línea base y en el escenario con proyecto	25
Tabla 4.	Variables fisicoquímicas de análisis.....	29
Tabla 5.	Muestreo de las comunidades de biodiversidad	32
Tabla 6.	Índices de diversidad	36
Tabla 7.	Criterios para calificación de motores de transformación a partir del concepto de los actores consultados y la información secundaria disponible.....	41
Tabla 8.	Imágenes satelitales ópticas	45
Tabla 9.	Imágenes satelitales de radar	46
Tabla 10.	Definición de variables para la determinación de biomasa en cobertura tipo no bosque	52
Tabla 11.	Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa área de árboles y palmas aplicables a la cobertura de bosque en áreas de humedal continental	53
Tabla 12.	Homologación de suelos USDA/IPCC.....	56
Tabla 13.	Estimación de la biomasa en los grupos bióticos	60
Tabla 14.	Factores de descuento por incertidumbre	64
Tabla 15.	Insumos para el análisis de cambios de uso de la tierra.....	65



Tabla 16. Matriz de cambio de usos de la tierra	66
---	----

Listado de figuras

Figura 1. Matriz de influencia directa (MID) para captación de datos de la calificación para los motores de transformación.....	42
Figura 2. Interpretación del mapa de influencia y dependencia indirecta del análisis prospectivo dentro del MICMAC.	42
Figura 3. Componentes de vegetación en los estratos para cuantificación de carbono en humedales	49
Figura 4. Diseño de la parcela para la estimación de depósitos de carbono asociados la vegetación.....	50

1 Introducción

Los humedales naturales continentales son considerados ecosistemas estratégicos a nivel mundial, por su importancia sobre la regulación climática. De acuerdo con la convención Ramsar, los humedales cubren solo el 9% de la superficie terrestre del planeta, pero se estima que almacenan el 35% del carbono terrestre¹, gracias a la alta productividad de las plantas y a la baja descomposición de la materia orgánica que ocurre en sus suelos inundados. Adicionalmente, los humedales naturales brindan servicios ecosistémicos como el suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción, y biodiversidad, así como control de crecidas, recarga de aguas subterráneas y mitigación del cambio climático².

Sin embargo, la superficie y calidad de los humedales han venido disminuyendo, en la mayoría de las regiones del mundo, y actualmente están desapareciendo tres veces más rápido que los bosques³, como consecuencia, entre otros, de los efectos del cambio climático y de las variaciones en los patrones de consumo que impulsan cambios en el uso de la tierra.⁴

En consecuencia, en el marco de medidas de conservación y restauración de humedales naturales continentales, la presente metodología establece los lineamientos para el desarrollo de actividades relacionadas con el manejo de los recursos en estos ecosistemas estratégicos, para hacer frente a los desafíos del cambio climático y ofrecer a las comunidades locales fuentes sostenibles de ingresos.

Por otra parte, el desarrollo e implementación de acciones encaminadas a la conservación y restauración de humedales naturales continentales, favorece la mitigación del cambio climático y la permanencia de la biodiversidad asociada con estos ecosistemas.

Este documento provee a los titulares de proyectos de GEI, las buenas prácticas relacionadas con los procedimientos, modelos, parámetros y datos para cuantificar la reducción de emisiones y/o remociones de GEI, atribuibles a las actividades que evitan el cambio de uso de la tierra y/o mejoran las condiciones de humedales naturales continentales. En este sentido, este documento contiene los requisitos para la identificación del escenario de línea base, los límites del proyecto, la adicionalidad, la identificación y el manejo de fugas, la estimación de la incertidumbre, así como las variaciones en las reservas de carbono.

¹ <https://www.ramsar.org/es>

² Ramsar, 2015. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes. Disponible en: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn7s.pdf>

³ Convention on Biological Diversity CBD, 2020. Statement by Elizabeth Maruma Mrema. Acting Executive Secretary, Convention on Biological Diversity on the occasion of World Wetlands Day. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/speech/2020/sp-2020-01-31-wwd-en.pdf>

⁴ Ramsar, 2015. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes. Disponible en: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn7s.pdf>

2 Propósito

El propósito de este documento metodológico (en adelante denominado esta Metodología) es definir los requisitos para:

- (a) identificar la línea base de proyectos de conservación y restauración en humedales naturales continentales;
- (b) demostrar la adicionalidad de proyectos de conservación y restauración en humedales naturales continentales;
- (c) cuantificar la reducción de emisiones de GEI resultantes de las actividades de conservación y restauración en humedales naturales continentales;
- (d) determinar y cuantificar las fugas e implementar acciones relacionadas con su manejo;
- (e) estimar la incertidumbre sobre la cuantificación de la reducción de emisiones de GEI;
- (f) diseñar el plan de monitoreo y seguimiento de las actividades de proyectos que evitan el cambio de uso del suelo en los humedales naturales continentales.

3 Versión y vigencia

Este documento constituye la versión 1.0, del 13 de junio de 2024.

La presente versión podrá ser actualizada periódicamente y los usuarios previstos deberán asegurarse de emplear la versión más reciente del documento.

4 Alcance

Este documento provee una metodología para la cuantificación de la reducción de emisiones de GEI, incluyendo el monitoreo de las actividades del proyecto y la incertidumbre, para proyectos de GEI que evitan el cambio de uso de la tierra y proponen actividades de conservación y restauración en humedales naturales continentales.

Esta metodología es aplicable para contabilizar la reducción de emisiones atribuible a las actividades de proyecto que generan reducciones de emisiones GEI, mediante actividades de conservación y restauración en humedales naturales continentales. La metodología no tiene restricciones geográficas y es aplicable a escala global.

Las actividades del proyecto pueden, opcionalmente, involucrar acciones de conservación de la biodiversidad, ya sea mediante acciones de preservación,

restauración y/o manejo y uso sostenible de las áreas en humedales naturales continentales.

Esta metodología puede ser empleada por los titulares de los proyectos de GEI, para certificarse y registrarse únicamente con el ESTÁNDAR BCR.

5 Condiciones de aplicabilidad

Esta metodología es aplicable bajo las siguientes condiciones:

- (a) las áreas en los límites geográficos del proyecto corresponden a la categoría de humedales naturales continentales⁵, localizadas en zonas geográficas diferentes a la región de la Orinoquia⁶;
- (b) las actividades de proyecto evitan el cambio de uso de la tierra en humedales naturales continentales;
- (c) las actividades del proyecto incluyen acciones para evitar la transformación de la cobertura vegetal natural, en humedales naturales continentales;
- (d) las actividades del proyecto comprenden acciones de conservación que incluyen preservación, restauración y/o manejo y uso sostenible de los humedales naturales continentales;
- (e) las actividades de proyecto incluyen actividades de restauración natural asistida en áreas que han sido transformadas;
- (f) las actividades de proyecto determinan cambios en cuanto al uso de fertilizantes nitrogenados, disminuyendo o eliminando su aplicación;
- (g) las actividades del proyecto no generan cambios en el ecosistema, ni alteran las coberturas naturales (e.g. transformar áreas en las que naturalmente predominan herbáceas en coberturas forestales);
- (h) las actividades propuestas por el proyecto no incluyen la remoción (total o parcial) de coberturas vegetales naturales (incluyendo bosque y otras coberturas naturales diferentes a bosque);
- (i) las actividades del proyecto no conducen a la alteración del régimen hídrico del área del proyecto o de áreas hidrológicamente conectadas debido a intervenciones antrópicas (e.g. sistemas de riego y/o drenaje);

⁵ El titular de proyecto debe asegurarse de identificar los ecosistemas clasificados como humedales naturales continentales, con base en la información oficial disponible en el país en el cual se desarrolla el proyecto.

⁶ El término Orinoquia contempla toda la región de la Orinoquia (presente en Colombia y Venezuela). Los titulares de proyectos localizados en la Orinoquia deben utilizar la metodología BCR0004.

- (j) las actividades del proyecto son implementadas en áreas en las cuales no hay otras actividades de restauración, planificadas o en marcha.

Esta metodología no es aplicable a zonas húmedas costero-marinas, de alta montaña, ni a territorios artificializados.

6 Referencias normativas

Las siguientes referencias son indispensables para la aplicación de esta Metodología:

- (a) El Estándar BCR, en su versión más reciente;
- (b) Directrices del IPCC 2003, 2006, 2013 y 2019 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, o aquellas que las modifiquen o actualicen;
- (c) La legislación nacional vigente, relacionada con proyectos de GEI, o aquellas normas que las modifiquen o actualicen, según aplique;
- (d) Las directrices, otras orientaciones y/o guías que defina BIOCARBON, en el ámbito de los proyectos de GEI.

Del mismo modo, es indispensable el cumplimiento de lo dispuesto en las siguientes Normas ISO:

- a) Norma ISO 14064-2:2019. Gases de efecto invernadero — Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero, o aquella que la actualice;
- b) Norma ISO 14064-3:2019. Gases de efecto invernadero — Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero, o aquella que la actualice.

7 Términos y definiciones

Adicionalidad

Es el efecto de la actividad de proyecto para reducir las emisiones antropogénicas de GEI por debajo del nivel que habría ocurrido en ausencia del proyecto de GEI o de la actividad de proyecto⁷.

⁷ Adaptado del Glosario del MDL

Aquellas reducciones de GEI que el titular del proyecto demuestre que no ocurrirían en ausencia del proyecto de GEI se consideran adicionales, como se describe en la sección 11 de este documento.

Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

Sector que comprende las emisiones y/o remociones de gases efecto invernadero atribuibles a actividades de proyecto en los sectores agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

Área Natural

Zona que se caracteriza por conservar su estructura, composición y funciones ecológicas y no ha sido transformada por el hombre.

Área transformada

Zona que ha sufrido cambios en sus condiciones físico bióticas.

Biomasa

Cantidad de materia viva de origen vegetal o animal presente en un momento dado, en un área determinada que dentro de su estructura corporal contiene Carbono. En el caso del material vegetal terrestre, la biomasa aérea hace referencia a tallos, ramas, corteza, semillas y follaje vivo, además de aquella que se encuentre sobre los cuerpos de agua de manera flotante, lo que también incluye el material radicular subterráneo con más de 2 mm de diámetro para la absorción de agua y nutrientes y las demás funciones fisiológicas y de sostén.⁸

Bosque Natural

Superficie mínima de tierras de entre 0,05 y 1,0 hectáreas (ha) con una cubierta de copas (o una densidad de población equivalente) que excede el 30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de 5 metros (m). Un bosque puede consistir en formaciones forestales densas, donde los árboles de diversas alturas y el sotobosque cubren una proporción considerable del terreno, o bien en una masa boscosa clara. Se consideran bosques también las masas forestales naturales y todas las plantaciones jóvenes que aún no han alcanzado una densidad de copas del 30% o una altura de los árboles de entre 2 y 5 m, así como las superficies que normalmente forman parte de la zona boscosa, pero carecen temporalmente de población forestal como consecuencia de la intervención humana, por ejemplo, de la explotación, o de causas naturales, pero que se espera vuelvan a convertirse en bosque.⁹

⁸ Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., ... & Ordoñez, M. F. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá DC, Colombia, 162.

⁹ Adaptado de UNFCCC. Acuerdo de Marruecos. Disponible en

Cambios de uso de la tierra

Los cambios de uso de la tierra que constituyen pérdida de cobertura natural. Es decir, cambios generados por actividades antrópicas, que resultan en la conversión de bosques o coberturas vegetales naturales a otros usos de la tierra. Cuando el cambio de uso de la tierra es de cobertura de bosque a otro tipo de cobertura, se denomina deforestación.¹⁰

Coberturas vegetales naturales, diferentes a bosque

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica. De acuerdo con CORINE Land Cover, en esta clase se incluyen otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de bajo porte.

Para la aplicación de esta metodología, esta definición incluye la cobertura vegetal natural presente en el humedal natural continental, como la vegetación hidrófita que se encuentra desde la lámina de agua hasta el área inundable. Esto incluye coberturas naturales diferentes a bosque, como vegetación acuática y de pantano, así como el bosque inundable propiamente dicho.

Conservación de ecosistemas de humedales

Actividades que se desarrollen con el fin de preservar y/o conservar el suelo y sus coberturas para mantener los contenidos de carbono disponibles en áreas naturales de humedal.

Datos de actividad

Datos sobre la magnitud de las actividades humanas que dan lugar a las emisiones o remociones que se producen durante un período de tiempo determinado.

Ecosistema

Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos en su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional materializada en un territorio, la cual se caracteriza por presentar una homogeneidad en sus condiciones biofísicas y antrópicas¹¹.

<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/spanish/cop7/cp713a01s.pdf>. El titular del proyecto debe usar la definición que aplique en su país.

¹⁰ BCR0003 Cuantificación de la Reducción de Emisiones de GEL. Actividades que evitan el cambio de uso de la tierra y mejoran las prácticas de manejo de turberas y otros humedales, en ecosistemas de alta montaña. Versión 3.0.

¹¹ De acuerdo con la definición contenida en el Convenio de Diversidad Biológica (1992). Disponible en: <https://www.cbd.int/>

Escenario de línea base

El escenario para el proyecto de GEI que representa razonablemente la suma de los cambios en las reservas de carbono dentro del límite del proyecto, que ocurrirían en ausencia del proyecto de GEI¹².

Fecha de inicio del proyecto

Fecha en la cual comienzan las actividades que se traducirán en reducciones de emisiones o remociones efectivas de GEI. Para los proyectos de GEI que apliquen esta metodología, la fecha de inicio corresponde a la fecha en la cual comienza la implementación de las actividades del proyecto. Éstas pueden ser, por ejemplo, la siembra de especies nativas en áreas transformadas y/o el inicio de las acciones de manejo que disminuyen la presión por la transformación de las áreas de humedal con cobertura vegetal natural que se encuentra en los límites del proyecto.

Factor de emisión de GEI

Coeficiente que relaciona los datos de la actividad de GEI con la emisión de GEI.

Fracción de carbono

Toneladas de carbono por tonelada de biomasa seca. De acuerdo con IPCC (2006) la fracción de carbono es de 0,47.

Fugas

Las posibles emisiones que ocurrirían fuera de los límites del proyecto, por las actividades de mitigación de GEI. Por fuga se entiende el cambio neto de las emisiones antropógenas por las fuentes de gases de efecto invernadero (GEI) que se produce fuera de los límites del proyecto, y que es mensurable y atribuible a la actividad de proyecto.

Herramientas del Manejo del Paisaje

Son elementos del paisaje que constituyen o mejoran el hábitat, incrementan la conectividad funcional o cumplen simultáneamente con éstas funciones en beneficio de la biodiversidad nativa.¹³

Humedal

Según el Convenio Ramsar protección de humedales (Artículo 1) "son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes,

¹² Adaptado de Glossary CDM terms. Version 10.0

¹³ RENJIFO, L. M.; ARISTIZÁBAL, S. L.; LOZANO-ZAMBRANO, F. H.; VARGAS, W.; VARGAS, A. M.; RAMÍREZ, D. P. 2009. Diseño de la estrategia de conservación en el paisaje rural (Fase II). 85- 119 p. En: Lozano-Zambrano, F. H. (ed). Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Bogotá, D. C., Colombia. 238 p

dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" (Ramsar, 1971)¹⁴.

Humedal Natural Continental

Ecosistemas inundados permanente o temporalmente, propios de llanura de inundación, sujetos al comportamiento hidro-climático de la cuenca, que se constituyen desde las zonas con suelos saturados (hasta donde los suelos presentan evidencia de procesos de óxido-reducción: condiciones redoximórficas) y vegetación hidrofítica (adaptada para soportar periodos de inundación), hasta áreas con espejos de agua visibles y profundos, en los que se encuentran organismos (microbiota, fauna y flora) con adaptaciones particulares a condiciones de humedad y que ofrecen servicios ecosistémicos y de uso que benefician a la comunidad local y regional¹⁵.

Motores de transformación

Cualquier acción natural o hecha por el hombre que genere cambios en los ecosistemas¹⁶. Pueden ser directos, cuando hay una fuerte influencia en el funcionamiento del ecosistema (variabilidad climática, cambios en el paisaje, inyección de nutrientes al suelo con fines agrícolas, explotación y uso de recursos e invasiones biológicas) o indirectos cuando su efecto no es claramente visible (crecimiento demográfico, tendencias sociopolíticas o económicas, avances científicos para mejorar la producción de biomasa y comportamiento humano)¹⁷.

Permanencia

Es la condición resultante de las actividades del proyecto, por la cual el sistema establecido dentro de los límites del proyecto se extiende de manera continua, garantizando que a lo largo del tiempo se mantiene la función de conservar las reservas de carbono.

Plano de inundación

El plano de inundación es el área que se inunda, de forma periódica o estacional, debido al aumento del nivel del agua, ya sea por precipitaciones, crecidas de ríos u otros eventos.

¹⁴ https://ramsar.org/documents?field_quick_search=2550

¹⁵ Fundación Natura, 2024. Proyecto CO₂ Humedales. Convenio No. 3044288 (Ecopetrol y Fundación Natura).

¹⁶ Carpenter, S., Bennett, E., and Peterson, G. (2006). Scenarios for ecosystem services: An overview. Ecol. Soc. 11, art29. doi:10.5751/es-01610-110129

¹⁷ Nelson, G. C., Bennett, E., Berhe, A. A., Cassman, K., DeFries, R., Dietz, T. (2006). Anthropogenic drivers of ecosystem change: An overview. Ecol. Soc. 11 (2), 29. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art29/>.

Proyecto de GEI (Proyecto de gases de efecto invernadero)

Actividad o actividades que alteran las condiciones de una línea base de GEI y causan la reducción de las emisiones de GEI o el aumento de las remociones de GEI¹⁸.

Regeneración asistida

Actividades de restauración que incentivan la capacidad de regeneración natural de la biota remanente en el sitio o en su cercanía, en lugar de reintroducir la biota en el sitio o dejar un sitio para que se regenere. Aunque este enfoque se aplica típicamente a sitios con degradación baja o intermedia, incluso algunos sitios muy degradados han mostrado ser aptos para la regeneración asistida, siempre que haya tratamientos adecuados y plazos de tiempo suficientes. Las intervenciones incluyen la eliminación de organismos plaga, la reintroducción de regímenes de disturbio y la implementación de recursos para acelerar la colonización.¹⁹

Región de referencia

Son los límites geográficos en los cuales se analizan los patrones históricos de cambios de uso del suelo, y degradación, que serán proyectados en el área del proyecto para obtener los valores de cambio de coberturas vegetales naturales, en el escenario de línea base, en el área del proyecto.

Reservorio de gas de efecto invernadero (Depósito de GEI)

Componente, distinto a la atmósfera, que tiene la capacidad de acumular los GEI y de almacenarlos y liberarlos¹⁸.

Nota 1 a la entrada: La masa total del carbono contenido en un reservorio de GEI en un punto específico en el tiempo se puede referir como depósito de carbono del reservorio.

Nota 2 a la entrada: Un reservorio de GEI puede transferir GEI a otro reservorio de GEI.

Nota 3 a la entrada: La recolección de un GEI de una fuente de GEI antes de que entre en la atmósfera y el almacenamiento del GEI recolectado en un reservorio de GEI se podría denominar como captura de GEI y almacenamiento de GEI.

Restauración ecológica

La restauración ecológica es el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. Comprende actividades intencionadas que inician o aceleran la recuperación de la funcionalidad ecológica o restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido¹⁹. La restauración incluye

¹⁸ ISO 14064-3:2019(es), 3.4.1.

¹⁹ Adaptado de SER, 2004; 2019, UNEP, 2019, IPBES, 2018: -Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. www.ser.org

intervenciones como: (a) restauración ecológica, (b) rehabilitación ecológica y, (c) recuperación ecológica o reclamación.

La restauración ecológica consiste en restablecer el ecosistema degradado a una condición similar al ecosistema pre-disturbio respecto a su composición, estructura y funcionamiento. Además, el ecosistema resultante debe ser un sistema autosostenible y debe garantizar la conservación de especies, del ecosistema general, así como de la mayoría de sus bienes y servicios. La restauración ecológica siempre aborda la conservación de la biodiversidad y la integridad ecológica.

La rehabilitación ecológica persigue llevar al sistema degradado a un sistema similar o no al sistema pre-disturbio, éste debe ser autosostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios ecosistémicos.

La recuperación ecológica o reclamación pretende recuperar algunos servicios ecosistémicos de interés social. Generalmente los ecosistemas resultantes no son autosostenibles y no se parecen al sistema pre-disturbio. Se relaciona con el proceso de hacer que las tierras severamente degradadas (p. ej., antiguas minas o vertederos) sean aptas para el cultivo o alcancen un estado adecuado para algún uso humano.

Revegetación

Establecimiento, por cualquier medio, de plantas en los sitios (incluidas áreas terrestres, dulceacuícolas y marinas) que pueden involucrar, o no, especies locales o nativas²⁰.

Sedimentos

Los sedimentos corresponden a los materiales resultantes cuando las rocas son sometidas a procesos de meteorización (fragmentación). Algunos procesos de fragmentan físicamente la roca en piezas más pequeñas sin modificar su composición; otros, descomponen la roca, es decir, modifican químicamente los minerales en otros nuevos y en sustancias fácilmente solubles en agua. El agua, el viento o el hielo glacial suelen transportar los productos de la meteorización a lugares de sedimentación donde éstos forman capas relativamente planas.²¹

A diferencia de los suelos, que están constituidos por fases gaseosa, líquida y sólida, los sedimentos sumergidos están formados sólo por las fases sólida y líquida.²² Por otro

²⁰ Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, HuaF, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decler K, Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. Restoration Ecology 27(S1): S1-S46.

²¹ Edward J. Tarbuck, Frederick K. Lutgens. 2005. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: https://api.periodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/ciencias-de-la-tierra_edward_j.tarbuck_y_frederick_k._lutgens.pdf

²² Avnimelech Y, Ritvo G, Meijer L, Kochba M. "Water content, organic carbon and dry bulk density in flooded sediments." Aquacultural engineering 2001; 25: 25-33.

lado, los sedimentos depositados en playas y zonas ribereñas de los humedales corresponden a los materiales parentales del suelo, Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar). La fase sólida se constituye por una orgánica y otra mineral. Los sedimentos siempre son una mezcla íntima de las fases orgánica, mineral y líquida, donde los restos de organismos y diversas sustancias orgánicas son los elementos de la fase orgánica, mientras que los cationes no volátiles, minerales, mineraloides y otras sustancias inorgánicas constituyen la fase inorgánica; la fase líquida es esencialmente agua.²³

Suelo

El suelo es un cuerpo natural constituido por materiales sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos, y gaseosos donde habitan macro y microorganismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico; cumple funciones y presta servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta²⁴.

Los suelos cubren la mayor parte de la superficie terrestre; son indispensables y determinantes para la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes, son parte esencial de los ciclos biogeoquímicos, en los cuales hay distribución, transporte, almacenamiento y transformación de materiales y energía necesarios para la vida en el planeta, así como para la biodiversidad. Su formación puede tardar miles de años como resultado de la meteorización e intemperismo físico, químico y biológico asociados con la interacción entre el clima, la geomorfología, el material geológico que los originan y los organismos que viven en ellos. Los suelos son sistemas donde suceden diferentes tipos de procesos, como ganancias, pérdidas, movimientos y transformaciones que van dejando su huella en forma de horizontes²⁵.

Suelos hídricos o hidromórficos

Los suelos hídricos o hidromórficos son aquellos que están saturados de agua o inundados por algunos periodos del año. Estas condiciones de anaerobiosis (sin oxígeno) provocan alteraciones de tipo físico y químico en el suelo que afectan sus constituyentes, propiedades, formación y evolución.

En los humedales, los suelos son determinantes, pues es donde se produce el estrés por la escasez de oxígeno y donde se descompone con mayor o menor velocidad la materia orgánica. Son fundamentales en la delimitación de zonas de humedales, ya que

https://www.researchgate.net/publication/222514599_Water_content_organic_carbon_and_dry_bulk_density_in_flooded_sediments

²³ Parra, L. 2005. Análisis facial de alta resolución de sedimentos del Holoceno tardío en el Páramo de Frontino (Antioquia). Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. 214 pp. <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-28-1-p-65.pdf>

²⁴ USDA. (2006). Claves para la Taxonomía de Suelos. 10a ed. Washington D.C.: Soil Survey Staff. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

²⁵ IDEAM, U.D.C.A., 2015. Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión. IDEAM - MADS -U.D.C.A Bogotá D.C., Colombia., 170 págs. Versión 2. Diciembre de 2015, Bogotá D.C., Colombia

registran la historia del humedal y permanecen aún después de que éste ha sido drenado y la vegetación hidrófita ha desaparecido²⁶.

Suelos húmedos

Un suelo húmedo es un suelo inundado o saturado de agua durante todo o parte del año, hasta el punto de que la biota adaptada a condiciones anaeróbicas, en particular los microbios del suelo y las plantas enraizadas, controlan la calidad y cantidad de las emisiones y absorciones anuales netas de gases de efecto invernadero.²⁷

Vegetación acuática

Vegetación que crece y se desarrolla en ambientes acuáticos, constituida por herbáceas cuya dinámica varía en tiempo, según la estacionalidad hidrológica (temporada de lluvia y época seca) y espacio (distribución en la cubeta de agua), de forma que se pueden distinguir las comunidades acuáticas sumergidas, flotantes, enraizadas.²⁸

8 Límites del proyecto

8.1 Límites espaciales

8.1.1 Áreas elegibles

El titular del proyecto debe identificar las áreas elegibles para la implementación de las actividades de restauración ecológica y de revegetación, en los límites del proyecto. Para ello, debe llevar a cabo el análisis multitemporal entre la fecha de inicio del proyecto ($t=0$) y, al menos, cinco años atrás de esa fecha.

8.1.1.1 Áreas elegibles para la implementación de las actividades de restauración

El titular del proyecto debe definir el área elegible para la implementación de las actividades de restauración, demostrando lo siguiente:

- (a) el área corresponde a coberturas transformadas;
- (b) las áreas en los límites geográficos del proyecto no corresponden a la categoría de cobertura natural, ni al inicio de las actividades del proyecto, ni tres años antes de la fecha de inicio del proyecto;

²⁶ MITSCH W & G GOSSELINK (2007) Wetlands. Fourth edition, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

²⁷ 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Disponible en https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_separate_files/WS_Chpt1_Introduction.pdf

²⁸ Rial, A. (2003). El concepto de planta acuática en un humedal de los Llanos de Venezuela. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales(155), 119-132.

8.1.1.2 Áreas elegibles para la implementación de actividades de conservación

Para las actividades de restauración ecológica, son elegibles las áreas que en el periodo de análisis se mantengan con la cobertura natural. Debe cumplirse con lo siguiente:

- (a) las áreas se clasifican en coberturas naturales vegetales, durante todo el periodo de análisis multitemporal requerido;
- (b) las coberturas de la tierra deben identificarse de acuerdo con las clasificaciones de uso y/o cobertura de la tierra dadas por el IPCC o las que apliquen para el país en el cual se proponen las actividades del proyecto.

Las áreas en los límites geográficos del proyecto deben clasificarse como humedales naturales continentales. Para demostrar que los límites del proyecto corresponden a la categoría de humedal natural continental, el titular del proyecto debe contar con datos e información geográfica con una escala mínima de 1:25.000. La precisión de la capa de cobertura debe ser igual o mayor al 80%. Adicionalmente, deben usarse datos de campo o imágenes de alta resolución para la evaluación de la precisión.²⁹

Los insumos cartográficos para la identificación de las coberturas/ usos de la tierra y el proceso metodológico para la generación de la información sobre los cambios en el uso de la tierra deben basarse en información confiable, con base en categorías de uso definidas, por ejemplo, por el IPCC para los inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Éstas, a su vez, deben ser consistentes con las categorías de uso de la tierra aplicables en el país donde se propone el proyecto de GEI.

Para la identificación de las coberturas vegetales naturales diferentes a bosque, el titular del proyecto de GEI debe utilizar las categorías definidas por la metodología CORINE Land Cover, o aquella aplicable en el país en el cual se desarrolla el proyecto.

8.1.2 Área de fugas

Área fuera del control del titular del proyecto de GEI con coberturas naturales a las que pueden desplazarse las actividades que generan cambios en el uso de la tierra, como consecuencia de las actividades del proyecto. Para su identificación, el titular del proyecto debe realizar un análisis de movilidad de agentes y determinantes de los cambios en el uso de la tierra.

El área de fugas debe delimitarse a partir de los siguientes criterios:

²⁹ Los datos geográficos deben manejarse siguiendo los estándares internacionales promovidos por organizaciones tales como la ISO, el OGC o la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

- (a) deben incluirse todas las áreas clasificadas como humedal natural continental que estén dentro del rango de movilidad de los agentes identificados en la sección 12 (abajo)³⁰;
- (b) el área de fugas es espacialmente distinta al área del proyecto, es decir, no se traslapan;
- (c) el área de fugas excluye las áreas de acceso restringido a los agentes que causan el cambio de uso de la tierra en humedales naturales continentales (motores de transformación).
- (d) en caso que, el área de fugas tenga traslape con otras áreas de proyectos GEI; debe analizarse cómo las actividades del proyecto afectan los agentes de transformación y las medidas para su manejo.

8.1.3 Región de referencia

La región de referencia corresponde al límite espacial en el que se realiza la estimación de los cambios en el uso de la tierra y los cambios en las existencias de carbono en ausencia del proyecto.

El titular del proyecto debe definir la región de referencia considerando los siguientes lineamientos:

- (a) Demostrar que los determinantes de los cambios en el uso de la tierra (motores de transformación) son similares a los que se presentan en el área del proyecto;
- (b) Demostrar que las condiciones ambientales (tipo de ecosistema, coberturas, altitud, precipitación, pendiente, suelos) son similares a las condiciones ambientales en el área del proyecto;
- (c) Demostrar que la tenencia de la tierra es semejante a la forma de tenencia en el área del proyecto. En el caso de incluir áreas con diferentes figuras de tenencia, el titular del proyecto debe demostrar que, históricamente, la transformación de las coberturas no ha sido generada por el tipo de tenencia;
- (d) Demostrar que las condiciones culturales y socioeconómicas (legislación aplicable, sistema de gobernanza, uso de la tierra) son similares a las condiciones en el área del proyecto.

³⁰ La distancia de movilidad de los agentes se puede determinar a partir de estudios secundarios o del levantamiento de información primaria (evaluación rural participativa).

8.2 Depósitos de carbono y fuentes de GEI

8.2.1 Depósitos de carbono

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) prevé la estimación de cambios en las reservas de carbono en los siguientes depósitos: biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo.

Para la aplicación de esta metodología, los depósitos de carbono se describen como se muestra en la [Tabla 1](#).

Tabla 1. Depósitos de carbono

Depósito de carbono		Descripción
Materia orgánica viva	Biomasa aérea terrestre	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, con inclusión de tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje.
	Biomasa aérea acuática	Biomasa presente en la zona litoral de los ecosistemas acuáticos proveniente de la vegetación acuática y diferenciada según su forma de vida. Se recomienda tener presente la morfoespecie dominante para el cálculo de la biomasa.
	Biomasa subterránea	Toda la biomasa viva de raíces. Se excluyen raíces finas de menos de 2mm de diámetro, porque con frecuencia no se pueden distinguir empíricamente de la materia orgánica del suelo.
Materia orgánica muerta	Detritos o madera muerta	Comprenden la materia orgánica no viva que se encuentre bajo algún grado de descomposición, ya sea en pie o caído sobre la superficie del suelo con un diámetro igual o mayor a 10 cm.
	Hojarasca	Comprende toda la masa no viva sobre el suelo (hojas, ramas y cáscaras de frutos) en varios estados de descomposición. Incluye las capas de detritos (fúmica y húmica).
Suelos	Carbono orgánico del suelo y sedimentos	Comprende el carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos a una profundidad específica seleccionada por el titular del proyecto.
Biodiversidad	Comunidades hidrobiológicas y fauna de planos de	Comprende el carbono contenido en la biomasa representada en depósitos distintos a biomasa aérea terrestre, biomasa aérea acuática, biomasa subterránea, materia orgánica, hojarasca o carbono orgánico del suelo y sedimentos.

Depósito de carbono		Descripción
	inundación	Incluye la biomasa de fauna vertebrada y otros componentes hidrobiológicos. Contenida en los depósitos asociados a suelos y/o coberturas acuáticas (hidrobiológicos) y otra selección para coberturas de transición.

La selección de los depósitos de carbono, para cuantificar los cambios en las reservas de carbono en los límites del proyecto, se muestra en la [Tabla 2](#).

Tabla 2. Selección de los depósitos de carbono

Depósito de carbono	Incluido/Excluido/Opcional	Justificación
Biomasa aérea terrestre	Incluido	El cambio en el contenido de carbono en este depósito es significativo, de acuerdo con el IPCC.
Biomasa aérea acuática	Opcional	La cantidad de carbono almacenado en este depósito puede aumentar, debido a las actividades del proyecto.
Biomasa subterránea	Incluido	El cambio en el contenido de carbono en este depósito es significativo, de acuerdo con el IPCC.
Materia orgánica muerta	Opcional	La cantidad de carbono almacenado en este depósito puede aumentar, debido a las actividades del proyecto.
Carbono orgánico del suelo y sedimentos	Incluido	El cambio en el contenido de carbono en este reservorio es significativo de acuerdo con el IPCC.
Biodiversidad	Opcional	La cantidad de carbono almacenado en este depósito puede aumentar, debido a las actividades del proyecto.

Los titulares de los proyectos de GEI pueden elegir no tener en cuenta los depósitos de carbono señalados en la tabla (arriba) como opcionales, siempre y cuando proporcionen información transparente y verificable que demuestre que tal elección no conducirá a una sobre o subestimación en la reducción/remoción de emisiones de GEI cuantificadas por el proyecto³¹.

³¹ Excepto para la exclusión de biodiversidad

8.2.2 Fuentes de GEI

Las fuentes de emisión y los GEI asociados, se presentan en la [Tabla 3](#).

Tabla 3. Fuentes de emisión y GEI, en el escenario de línea base y en el escenario con proyecto

Fuente	GEI		Incluido/ Excluido/ Opcional	Justificación
Combustión de biomasa leñosa	CO ₂	Dióxido de carbono	Excluido	Las emisiones de CO ₂ debidas a la combustión de biomasa leñosa no son cuantificados como cambios en las reservas de carbono, de acuerdo con el IPCC.
	CH ₄	Metano	Incluido	Debe ser incluida si fue identificada la presencia de incendios/quemas durante el periodo de monitoreo (e.g. combustión de biomasa leñosa debida a la preparación del sitio como parte de la preparación de la tierra).
	N ₂ O	Óxido nitroso	Incluido	Debe ser incluida si fue identificada la presencia de incendios/quemas durante el periodo de monitoreo (e.g. combustión de biomasa leñosa debida a la preparación del sitio como parte de la preparación de la tierra).
Alteración del régimen hídrico	CO ₂	Dióxido de carbono	Incluido	Deben ser incluidas si se observan cambios en el uso de la tierra en los límites del proyecto.
	CH ₄	Metano	Opcional	Se sugiere su inclusión si se identifica que las actividades de transformación del humedal en el escenario con proyecto generan un aumento en la emisión de metano.
Uso de fertilizantes	CO ₂	Dióxido de carbono	Excluido	Las emisiones de CO ₂ debidas a la aplicación de fertilizantes no son cuantificados como cambios en las reservas de carbono.
	CH ₄	Metano	Excluido	Las emisiones de CO ₂ debidas a la aplicación de fertilizantes no son cuantificados como cambios en las reservas de carbono.
	N ₂ O	Óxido nitroso	Incluido	Las emisiones de Óxido Nitroso deben incluirse si se aplican fertilizantes en el escenario de línea base y se espera que se reduzcan en el escenario con proyecto.

8.3 Límites temporales y periodos de cuantificación

Los límites temporales del proyecto corresponden a los periodos durante los cuales se llevan a cabo las actividades del proyecto y son cuantificadas las reducciones y remociones de GEI.

Los límites temporales del proyecto deben definirse considerando lo siguiente:

- (a) La fecha de inicio del proyecto;
- (b) El periodo de cuantificación de las reducciones y/o remociones de GEI; y
- (c) Los periodos de monitoreo.

La reducción de emisiones y/o remociones atribuibles a las actividades del proyecto se contabilizan durante el periodo de cuantificación del mismo. Es decir, el período durante el cual el titular del proyecto cuantifica las reducciones/remociones de GEI, medidas con respecto al escenario de línea base.

El periodo de cuantificación, durante la verificación, corresponde al periodo de monitoreo.

9 Caracterización de los humedales naturales continentales

9.1 Evaluación de la información hidrometeorológica

El titular del proyecto debe caracterizar los humedales naturales continentales combinando la base cartográfica con evaluación de información hidrometeorológica y de variables físico-químicas.

A continuación se presentan los métodos sugeridos para llevar a cabo tal caracterización. Sin embargo, el titular del proyecto puede aplicar métodos diferentes, siempre y cuando éstos correspondan a validación de información confiable y pertinente.

9.1.1 Obtención de la información

Para completar la caracterización de las variables hidrometeorológicas deben tenerse en cuenta estaciones climatológicas, limnológicas y limnimétricas, que cuenten con un periodo de registro que permita obtener datos con la rigurosidad estadística requerida. Pueden considerarse estaciones climáticas que se encuentren tanto en los límites del proyecto como en áreas cercanas al área en los límites del proyecto. Las variables sobre las cuales debe obtenerse información son las siguientes: precipitación, temperatura,

radiación solar, brillo solar, viento, presión atmosférica, humedad relativa, evaporación, nivel, caudal e información sedimentológica.

A pesar de que las estaciones de medición de variables tanto hidrológicas como meteorológicas son utilizadas para recopilar información confiable y útil para análisis con diferentes objetivos, estas siempre estarán restringidas a una cierta incertidumbre y error en la medición. Por lo tanto, se requiere un pre-procesamiento de la información hidrometeorológica, con el objeto de obtener series aseguradas, o con alto nivel de calidad, de acuerdo con la organización mundial de meteorología³² (OMM).

9.1.2 Análisis de errores sistemáticos

Los errores sistemáticos son mediciones erradas que se reproducen de la misma manera y de forma repetitiva. Generalmente, son causados por un defecto en el instrumento y/o por la forma que se realiza la medición. Para el pre-procesamiento de información, se puede evaluar la posible presencia de errores sistemáticos a través del cálculo de una media móvil, aplicada sobre la serie de tiempo. Debe tenerse en cuenta una ventana de cálculo para la media móvil de 30 días, tomando el promedio de los datos consecutivos que se encuentren para ese tiempo, ignorando los datos faltantes. Este criterio es útil para evaluar posibles cambios en la media debidos a fallas sistemáticas en las mediciones de la estación tales como repetitividad de valores atípicos.

9.1.3 Análisis de datos anómalos o proceso de control de calidad de los datos

En función de la variable de interés deben aplicarse criterios pertinentes para definir si un dato es atípico o no, dentro de una serie de tiempo. El análisis de datos atípicos o anómalos debe llevarse a cabo para series temporales, y emplearse un umbral porcentual sobre el cual se podría aceptar un dato como atípico, considerándose el percentil 95% y 5% como aquellos límites mínimos para considerar un evento como anómalo.

El titular del proyecto de GEI debe demostrar que las variables analizadas son adecuadas para llevar a cabo el análisis de datos atípicos.

9.1.4 Análisis de periodos consistentes y homogéneos

La calidad de la información hidrometeorológica se define por el grado de homogeneidad y de consistencia de las series temporales.

Una manera de determinar posibles problemas de homogeneidad y consistencia en las series temporales es por simple inspección visual realizando la graficación directa del registro de datos. De esta manera, es posible notar cambios significativos y datos

³² OMM, 2019. Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad. OMM No. 1238, Genève 2, Suiza

atípicos extremos, además de verificar el comportamiento general de la serie. Para identificar objetivamente cambios en parámetros estadísticos, pueden utilizarse pruebas paramétricas o no paramétricas que además pueden indicar si existe o no una tendencia en la serie. Pueden realizarse pruebas como la de masa y doble masa para la precipitación y el caudal. Es igualmente válido utilizar pruebas de hipótesis estadísticas como la Prueba de Pettit.

9.1.5 Procesamiento de la información

El objetivo de esta etapa es generar la información necesaria a nivel espacial y temporal, completando siempre que sea necesario, la información faltante en los registros de las estaciones descargadas, y además generando la información espacial a través de una conceptualización geoestadística.

9.1.6 Llenado de datos faltantes

El llenado se aplica a series temporales que presentan valores faltantes, cuya estimación es necesaria para su aplicación a diferentes tipos de análisis, proporcionando mejores resultados en comparación con aquellos que se obtienen cuando se calculan sobre la base de conjuntos de datos incompletos. En general, cuanto más largo sea el período que se ha de estimar, menor será el nivel de confianza que pueda asignarse a las estimaciones³³.

9.1.7 Modelación hidrológica

La modelación hidrológica e hidráulica puede manejarse con una escala temporal mensual, a partir del modelo hidrológico semidistribuido, como por ejemplo (SWAT) a escala espacial de cuenca. Existen varios modelos, aplicables de acuerdo con los datos con los que se cuente, que pueden ser empleados mediante un modelo hidráulico bidimensional. También existen modelos que calculan el balance hídrico a escala de pixel, para el cual es necesario introducir las variables de entrada en formato ráster (como por ejemplo INVEST WATER YIELD). Las series requeridas en la modelación deben manejar una escala temporal diaria.

9.1.8 Espacialización de la información

El titular del proyecto puede usar el modelador hidrológico, para la caracterización hidroclimatológica adecuada de las áreas en los límites del proyecto.

Esto debe llevarse a cabo usando las variables necesarias para la espacialización. La espacialización de la información es pieza importante como insumo para la

³³ WMO, 2018. Guide to Climatological Practices. WMO-No. 100. World Meteorological Organization (WMO). Geneva, Switzerland.

representación de la climatología de los modelos hidrológicos construidos, donde se comparan y evalúan diferentes algoritmos de interpolación en función de la variable que se espacializa. Para este propósito pueden emplearse algoritmos como: Inverse Distance Weighting (IDW) como método determinístico de interpolación con un peso igual a 2, Kriging con Deriva Externa (KED), Kriging Regresivo (Kreg), y la mezcla de datos de reanálisis Multi Source Weighted Ensemble Precipitation (MSWEP) mediante el algoritmo Double Smoothing (DS).

9.1.9 Análisis de variables fisicoquímicas

Para llevar a cabo el análisis físico y químico de los humedales naturales continentales, los titulares de los proyectos pueden considerar solamente algunas variables contempladas en este tipo de ecosistemas. Sin embargo, se sugiere que, al menos, se realice la caracterización mediante las variables clave estipuladas por los protocolos y/o normativa de cada país.

A continuación, en la [Tabla 4](#), se presenta una relación de las principales variables que pueden incluirse:

Tabla 4. Variables fisicoquímicas de análisis

Tipo de variable	Variable
Variables físicas (para humedales no gestionados)	<ul style="list-style-type: none"> Nivel del agua (considerada también como variable hidrometeorológica) Área superficial del humedal Profundidad total Temperatura del agua Altura del nivel freático
Biota acuática	<ul style="list-style-type: none"> Transparencia Secchi Caudal
Variables químicas	<ul style="list-style-type: none"> pH Oxígeno disuelto Nutrientes: nitrógeno y fósforo Flujo de CO₂ y CH₄ Carbono orgánico Coliformes totales DQO Sólidos disueltos y suspendidos Turbiedad

La medición *in situ* de las variables, así como la toma de muestras para análisis *ex situ* y los análisis de laboratorio, deben garantizar el cumplimiento de los estándares y los sistemas vigentes, requeridos para el aseguramiento de la calidad.

9.1.10 Áreas de muestreo

Para la selección de las áreas de muestreo deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- (a) Información previa obtenida de anteriores campañas de modelación hidrológica, en los límites del proyecto;
- (b) Coberturas asociadas a coberturas naturales vegetales, diferentes a bosque, y áreas seminaturales en el área del proyecto, identificadas con la escala cartográfica apropiada;
- (c) Sectores ubicados en sistemas lénticos tanto cerca de las riberas como en la zona lacustre y en sistemas lóticos de diferente orden³⁴;
- (d) Sectores en los cuales se llevan a cabo acciones relacionadas con pesca, restauración, conectividad, corredores de conservación, así como sectores cercanos a estaciones hidrometereológicas y/o limnimétricas en la zona.

A partir de estos criterios y utilizando herramientas SIG, para la localización de los sectores deben usarse los análisis de cobertura de la tierra e información secundaria que permita determinar lo relacionado con los literales a) a d) arriba.

9.1.11 Muestreo en campo y análisis de la información

El muestreo debe incluir las características ambientales y mediciones *in situ*. Estas mediciones deben tomarse en tres puntos del área del cauce (desde la orilla hacia el centro) en los sistemas lóticos y mediante perfiles verticales en la columna de agua (subsuperficial, mitad de la zona fótica, límite de la zona fótica, mitad de la zona afótica –cuando se observa- y antes del fondo) en los sistemas lénticos. Además, debe medirse la velocidad del viento (según la escala anemométrica de Beaufort). En los sistemas lóticos se estima el caudal y en los lénticos la transparencia del agua (en la superficie) y la profundidad total.

9.1.12 Tratamiento de la información

Junto con los resultados cuantitativos debe presentarse un análisis descriptivo y exploratorio, usando estadísticos de tendencia central, dispersión absoluta y relativa. Con las variables consideradas en el monitoreo pueden usarse análisis de correlación que permitan priorizar variables para un posterior análisis estadístico multivariado como: componentes principales, correspondencias, conglomerados, entre otros.

³⁴ Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am., 56: 275-370.

Con estos análisis se puede describir o explicar la relación entre las variables y los sectores evaluados. Se recomienda para el análisis exploratorio de la información el uso de software libres como Past, R, Biodiversity, InfoStat entre otros.

10 Caracterización de la biodiversidad

La caracterización de la biodiversidad es opcional. Deberá completarse si el titular del proyecto contempla la inclusión de la biodiversidad en los depósitos de carbono, para el cálculo de los cambios en las reservas de carbono en el proyecto.

Para este fin se sugiere que los análisis incluyan, al menos, los grupos o comunidades biológicas más representativos del ecosistema, priorizados en función del área geográfica, el tamaño del humedal y/o los servicios ecosistémicos, entre otros.

Algunos de los grupos sugeridos son: (a) Biota acuática: Fitoplancton, ficoperifiton, zooplancton, macroinvertebrados (asociados a vegetación y/o bentónicos), macrófitas y peces, y (b) Biota anfibia y/o terrestre: Insectos, aves, anfibios, reptiles, mamíferos y vegetación.

10.1 Muestreo en campo

Para la caracterización de los grupos biológicos de aves, reptiles y mamíferos, el muestreo debe considerar la cobertura de la tierra homologada bajo las categorías definidas por el IPCC. Mediante un análisis SIG deben identificarse los polígonos en el área del proyecto por tipos de vegetación: leñosa, áreas forestales, pastizales, áreas de cultivo, herbazales y áreas del espejo de agua y playones.

De acuerdo con la diversidad de hábitats (según el mapa de coberturas) y la representatividad del análisis, debe considerarse la viabilidad operativa para el monitoreo y la articulación con los demás depósitos de carbono y las actividades del proyecto.

La totalidad de los grupos bióticos priorizados debe caracterizarse, a partir del muestreo requerido ([Tabla 5](#)) y posterior análisis, su composición y estructura (medidas de abundancia e índices de diversidad. Cuando sea posible, puede incluirse la biomasa y/o medidas alométricas y los aspectos biogeográficos de las especies (nativa, endémica, introducida, invasora, naturalizada, etc.).

Del mismo modo, pueden incluirse las categorías de amenaza establecidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN): Preocupación menor (LC), Casi Amenazado (NT), Vulnerable (VU), En Peligro (EN), En Peligro Crítico (CR); así como los aspectos comerciales y/o culturales en el área del humedal y los hábitos migratorios de las especies encontradas.

Tabla 5. Muestreo de las comunidades de biodiversidad

Grupo biótico	Método
Fitoplancton	Integrado de tres muestras obtenidas en diferentes profundidades de la zona fótica (subsUPERficie, parte media y límite inferior), mediante botella Van Dorn.
Ficoperifiton	En 10 sustratos sumergidos o de la interfase agua-aire, mediante remoción con cepillo, utilizando cuadrantes de 9 cm ² .
Zooplancton	Integrado de tres muestras obtenidas en diferentes profundidades de la zona fótica (subsUPERficie, parte media y límite inferior), mediante botella Schindler-patalas de 30L.
Macroinvertebrados acuáticos	En área litoral con presencia de macrófitas acuáticas, en un cuadrante de 1 m ² de dichas plantas. Recolección mediante remoción con red triangular y estrujamiento manual.
Macrófitas acuáticas	Mediante observación directa en un transecto perpendicular a la orilla, conformado por 10 cuadrantes de 1 m ² (desde la zona limnética hasta la orilla). Modificado de Ramos et al. (2004).
Vegetación de ribera	Mediante observación directa en parcelas rectangulares de 500m ² .
Aves	Detección visual y auditiva mediante recorridos en transectos de longitud variable (dependiendo del tamaño de la cobertura y las condiciones de accesibilidad), utilizando binoculares y grabadora. Además se realizó registro fotográfico de las especies. Los registros se realizaron en las horas de mayor actividad de las aves (5:30 a 9:30 y 16:00 a 18:00, para un total de 6 horas diarias de observación).
Herpetos	Transectos de búsqueda libre intensiva por encuentro visual (VES) durante siete (7) horas al día, según Lovich et al. (2012), McDiarmid et al. (2012) y Heyer et al. (2014): muestreos diurnos de 15:00 a 18:30 centrados principalmente en la exploración visual de los microhábitats disponibles y nocturnos de 18:30 a 22:00 consistentes en la exploración visual del suelo y sobre la vegetación y en registros auditivos. Se sugiere que los transectos se complementen con trampas no letales para tortugas semiacuáticas (2 en cuerpos de agua de cada zona) por 5 horas.

El análisis de la estructura de las comunidades de biodiversidad puede establecerse con base en las siguientes métricas:

(a) Densidad (fitoplancton en ind/mL, ficoperifiton en ind/cm², zooplancton en

ind/L y macroinvertebrados acuáticos en ind/m²),

- (b) Abundancia (como número de individuos para la vegetación de ribera, las aves y los herpetos) o Porcentaje de cobertura (para las macrófitas).
- (c) Riqueza específica
- (d) Índice de diversidad de Shannon (1949)
- (e) Índice de dominancia de Simpson (1949)
- (f) Índice de equidad o equitatividad de Pielou (1969)

Por otra parte, la identificación y descripción de Altos Valores de la Conservación (AVCs), desde el nivel de especie hasta el de paisaje, permite centrar las evaluaciones posteriores en las variaciones de dichos AVCs y la disminución de las presiones sobre la biodiversidad.

La espacialidad de los análisis debe proponerse a partir de una base cartográfica o sistema de información geográfica que permita considerar, entre otros, los aspectos geomorfológicos y socioeconómicos del humedal, para que la caracterización y monitoreo representen en lo máximo posible sus diferentes hábitats, coberturas y usos y la temporalidad, según las variaciones climáticas del área de estudio, debido a la dinámica cambiante (principalmente a nivel físico, químico y ecológico) que imponen dichas variaciones en los humedales.

Para todos los grupos o comunidades se recomienda que las metodologías de campo, laboratorio (cuando aplique) y análisis (incluyendo el análisis estadístico), se realicen siguiendo métodos estandarizados, adecuados y por profesionales competentes e idóneos en cada grupo biológico.

No obstante, debido a que la vegetación es uno de los componentes más importantes en la delimitación de los humedales (principalmente las macrófitas y la vegetación de planos de inundación), se sugiere considerar ambos componentes de esta comunidad dentro de la caracterización de la biodiversidad, para lo cual se puede seguir los métodos que se describen a continuación.

10.1.1 Fase de campo macrófitas

La estimación del porcentaje de cobertura de cada una de las especies de macrófitas presentes puede hacerse de forma semi-cuantitativa. Para esto se usan diez (10) cuadrantes de 1 m² en cada sector, mediante un cuadrado de 1 m x 1 m. Los cuadrantes se ubican de manera perpendicular a la orilla del cuerpo de agua en los sistemas lénticos, y en el caso de los sistemas lóticos se evalúa la extensión del tapete de plantas acuáticas para estimar si los cuadrantes se ubicaban de manera perpendicular o paralela a la orilla. En los casos en los que se dispone en paralelo, deben asegurarse uno o dos

cuadrantes ubicados sobre la cubeta de agua y los cuadrantes restantes hacia la orilla, con el fin de cubrir la zona de transición agua-tierra firme.

Los transectos se localizan en las áreas definidas tratando de abarcar la mayor cantidad de biotipos presentes en el área de 10m². En cada cuadrante se estima el porcentaje de cobertura de las especies presentes dentro del cuadrante, se registra el biotopo (errante sumergida, errante flotante, enraizada con hojas sumergidas, enraizadas con hojas flotantes, enraizadas en zonas de transición, fijas sobre piedras en sistemas corrientes)³¹ y dicha información se apunta en formatos de campo. Adicionalmente, deben tomarse datos de variables fisicoquímicas in situ tales como OD, conductividad, pH y profundidad.

10.1.2 Fase de campo vegetación de planos de inundación

Es necesario al menos un (1) levantamiento por sector de muestreo, tanto para sectores lénticos como lóticos. En cada levantamiento debe realizarse un inventario de todas las especies de tallo leñoso y porte arbóreo (altura superior a 5 m).

Para la caracterización de especies leñosas de porte arbustivo (alturas entre 1.5 a 5m) se usan dos subparcelas de 5 x 5m en diferentes puntos de la parcela. Sin embargo, si en el sitio de muestreo no se identifican especies de porte arbustivo, se debe realizar el inventario de especies de alturas entre 1.5 y 5m en todo el levantamiento y que corresponderá al estrato arbustivo.

Finalmente, la caracterización de elementos herbáceos debe obtenerse mediante el establecimiento de 2 subparcelas de 2 x 2m ubicadas al interior de la parcela principal. En todas las parcelas (y subparcelas) se lleva a cabo un inventario de especies y se estima la cobertura de cada especie a partir de la proyección de la copa (en especies arbóreas y arbustivas) y porcentaje de cobertura (en especies herbáceas).

A los individuos de porte arbóreo se les mide el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y la altura de la primera ramificación. En los formatos diseñados para el estrato arbóreo de cada parcela, se registra el valor de humedad de suelo (%). Adicionalmente, deben observarse otras características importantes en la zona tales como, presencia y cobertura estimada de bejucos, lianas, trepadoras y epífitas y evidencia de intervención antrópica observable.

10.1.3 Identificación taxonómica de las muestras

Las plantas que no puedan identificarse en campo deben ser recolectadas y preservadas y posteriormente usar claves taxonómicas que permitan obtener la identificación taxonómica. Esto con el fin de realizar análisis de biodiversidad y estructural de la vegetación, además servirá para obtener el potencial invasor a partir de los listados de especies invasoras (principalmente para la vegetación acuática).

Adicionalmente, debe realizarse la validación nomenclatural de los nombres científicos para lo cual se pueden usar herramientas como TROPICOS.ORG y TNRS (Taxonomic Name Resolution Service).

El listado de especies también permite establecer la categoría de amenaza de acuerdo con las categorías establecidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN³⁵).

10.2 Análisis de la información de Macrófitas

Con la lista de especies y sus respectivas coberturas se determina la cobertura promedio de cada especie para cada uno de los transectos. Una vez hecho este cálculo, se estima la cobertura (%) de las formas de vida (biotipos) por transecto ([Ecuación 1](#)) y la proporción de biotipos por transecto ([Ecuación 2](#)).

$$\%Cob \text{ biotipo } n = \sum (\%Cob \text{ spp. biotipo } n) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, %Cob biotipo n equivale a la cobertura (%) de un biotipo determinado en el transecto; y $\sum (\%Cob \text{ spp. biotipo } n)$ es la sumatoria de las coberturas promedios de todas las especies del mismo biotipo. El valor de esta variable puede oscilar entre 0% y 100%; valores cercanos a 0 indican una baja dominancia del biotipo mientras que valores cercanos a 100 indican una alta dominancia del biotipo.

$$PB = \frac{\# \text{ biotipos en transecto}}{\# \text{ total de biotipos}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, PB es la proporción de biotipos en el transecto. El # total de biotipos siempre será de siete (7), ya que es el número de biotipos trabajados en la metodología. Los valores de la PB varían entre 0 y 1, siendo cero una nula representatividad de biotipos en el transecto y 1 una alta representatividad de biotipos en el transecto.

Para determinar la proporción de las especies con potencial invasor se suma la cobertura promedio de las especies identificadas con potencial invasor y se divide sobre la cobertura total de especies registradas en el transecto. El valor de esta variable puede encontrarse entre 0 y 1. Valores cercanos a cero indican una baja proporción de especies con potencial invasor, mientras que valores cercanos a 1 indican dominancia de las especies con potencial invasor en el transecto. ([Ecuación 3](#)).

³⁵ IUCN. (2021). The IUCN Red List of Threatened Species. Obtenido de <https://www.iucnredlist.org/e>

$$PPI = \frac{\text{Cob \% spp. con potencial invasor}}{\text{Cob \% total spp}}$$

Ecuación 3

Por otra parte, debe estimarse la riqueza de especies para cada uno de los sectores y los índices de diversidad de Shannon, Dominancia, índice de equidad y riqueza de Margalef (Tabla 6). Para esto puede usarse los Software libre como Past Program, EstimateS, R entre otros.

Tabla 6. Índices de diversidad

Índices	Fórmula del índice	
Diversidad de Shannon	$H = - \sum_i \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}$	Ecuación 4
Dominancia	$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{n} \right)^2$	Ecuación 5
Equidad	$Equidad = \frac{H}{\ln S}$	Ecuación 6
Riqueza de Margalef	$Margalef = \frac{(S - 1)}{\ln(n)}$	Ecuación 7

Donde n es el número total de individuos; n_i/n es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) y S es el número total de taxa.

El índice de Shannon puede presentar valores entre 0 y 5 (generalmente), entre más alto sea el valor registrado, mayor será la diversidad de un sector. Se considera que valores superiores a 3 son representativos de sectores o áreas con una alta diversidad. En el caso de los demás índices, sus valores oscilan entre 0 y 1, siendo cero la menor equitatividad, dominancia o riqueza y 1 la mayor.

10.3 Análisis de la información para la vegetación de planos de inundación

Las evaluaciones sobre la cobertura vegetal se llevan a cabo con base en cálculos estructurales, como el área basal, la estructura diamétrica y de alturas.

La estructura diamétrica se hace graficando histogramas de abundancia vs. clase de tamaño en 8 clases diamétricas (10 cm amplitud)³⁶. La estructura vertical se determina graficando histogramas de abundancia vs. Clase de tamaño en 10 clases de alturas (5 m amplitud); la primera clase de altura (i.e. 1,3-5 m, 5-10 m). Adicionalmente, se grafica el

³⁶ Según el método propuesto por Silvertown & LovettDoust (1993)

número de árboles, el área basal y la biomasa con relación a la altura sobre el nivel del mar de cada parcela.

Para la estimación de las alturas de los individuos a los cuales no se les mide la altura se emplea un modelo tipo Weibull.

10.3.1.1 Composición florística

La caracterización de la composición florística se lleva a cabo mediante levantamientos a nivel de familia y especie. Para evaluar la importancia ecológica de las familias, debe calcularse el Índice de Valor de Importancia de familias ([Ecuación 8](#)), con base en la densidad relativa ([Ecuación 9](#)), la dominancia relativa ([Ecuación 10](#)) y la frecuencia relativa ([Ecuación 11](#))³⁷.

$$IVI_f = De_r + Do_r + Fr_r \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

IVI_f	=	Índice de valor de importancia ecológica de familias
De_r	=	Densidad relativa
Do_r	=	Dominancia relativa
Fr_r	=	Frecuencia relativa

$$De_r = (\text{número de individuos de una familia}) / (\text{número de individuos totales}) * 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Do_r = (\text{Biomasa aérea por familia}) / (\text{Biomasa aérea para todas las familias}) * 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$Fr_r = (\text{número de especies de una familia}) / (\text{número total de especies}) * 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

Para determinar la importancia de cada especie debe calcularse el Índice de Valor de Importancia (IVI) para las especies presentes en cada tipo de cobertura vegetal. El IVI ([Ecuación 12](#)) se obtiene de la suma de la abundancia relativa ([Ecuación 13](#)), dominancia

³⁷ Adaptado de Mori, S., Boom, B., de Carvalho, B., & Dos Santos, T. (1983). Southern Bahian moist forest. The Botanical Review, 49(2), 155-232.

relativa ([Ecuación 14](#)) y frecuencia relativa ([Ecuación 15](#)) de cada especie³⁸; como criterio de dominancia se empleó la BA calculada.

$$IVI_{sp} = Ab_r + Do_r + Fr_r \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

IVI_{sp}	=	Índice de valor de importancia ecológica por especie
Ab_r	=	Abundancia relativa
Do_r	=	Dominancia relativa
Fr_r	=	Frecuencia relativa

$$Ab_r = (\text{número individuos de una especie}) / (\text{número de individuos totales}) * 100 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Do_r = (\text{Biomasa aérea por especie}) / (\text{Biomasa aérea para todas las especies}) * 100 \quad \text{Ecuación 14}$$

$$Fr_r = (\text{frecuencia de una especie}) / (\text{Sumatoria de todas las frecuencias}) * 100 \quad \text{Ecuación 15}$$

10.3.1.2 Diversidad florística

Diversidad α .

Con el fin de caracterizar la diversidad florística deben emplearse los índices de Equidad de Shannon (E) ([Ecuación 16](#)), de dominancia de Simpson (D) ([Ecuación 17](#)), así como la riqueza o número de especies en cada una de las unidades muestreadas³⁹.

$$H' = \sum -(f_i \ln f_i) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$D = \sum f_i^2 \quad \text{Ecuación 17}$$

³⁸ Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos/Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas -posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn.

³⁹ Magurran, A.E. 1989. Ecological Diversity and its Measurement. Princeton University Press, Princeton, N.J. 179 p.

Donde f_i equivale a la abundancia relativa de las especies.

Asimismo, puede calcularse el índice Alfa de Fisher ([Ecuación 18](#)), recomendado para comparar entre diferentes tipos de cobertura, por ser menos sensible al tamaño de la muestra⁴⁰.

$$S = \alpha \ln \left((1 + N) / \alpha \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde S es el número de especies, N el número de individuos, y α representa la base del parámetro.

Diversidad β .

El índice de Jaccard ([Ecuación 19](#)), es un método cualitativo que expresa la semejanza entre dos sitios solo considerando la composición de especies, asimismo, relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas. Adicionalmente, este índice da igual peso a todas las especies sin importar su abundancia y por ende dan importancia incluso a las especies más raras.

$$I_j = c / (a + b + c) \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde: a= número de especies en el sitio A, b= número de especies en el sitio B, y c= número de especies presentes en ambos sitios A y B, es decir que están compartidas.

El rango de este índice va desde cero (0) cuando no hay especies compartidas, hasta uno (1) cuando los dos sitios comparten las mismas especies. Este índice mide diferencias en la presencia o ausencia de especies.

10.4 Análisis estadístico

Para la presentación de los resultados de la información biótica, se construyen gráficos de barras que representen la frecuencia de los componentes biológicos y que permiten comparar los diferentes sectores de monitoreo del humedal.

Adicionalmente, se calculan los índices ecológicos de diversidad (dominancia de Simpson, riqueza de Margalef, diversidad de Shannon y uniformidad de Hill) de las comunidades de cada sitio de muestreo.

⁴⁰Condit et al. (2004) Condit R, Aguilar S, Hernandez A, Perez R, Lao S, Angehr G, Hubbell SP, Foster RB. Tropical forest dynamics across a rainfall gradient and the impact of an El Niño dry season. Journal of Tropical Ecology. 2004; 20:51–72. doi: 10.1017/S0266467403001081.

Con el resultado de los índices, se sugiere realizar análisis de ordenamiento que requieren tener un número de variables igual o menor al número de lugares evaluados⁴¹. Para esto deben seleccionarse aquellas variables que presentan una mayor explicación, que no están altamente correlacionadas, y que explican el mayor porcentaje de la varianza de los datos.

Para los análisis multivariados que buscan determinar las variables más representativas, se sugiere realizar los siguientes pasos: 1) cálculos de la correlación de Pearson para eliminar las variables con correlaciones mayores a 0,7; 2) cálculo del coeficiente de variación para quitar las variables con coeficientes menores al 20%; y 3) si se tienen variables de diferente escala, realizar el proceso de estandarización.

Las variables seleccionadas se emplean para otros análisis multivariados que permiten cruzar información biótica y abiótica con el objetivo de identificar las relaciones entre la estructura de la comunidad y la calidad del agua del humedal. Los análisis más utilizados con este propósito son: componentes principales (PCA), correspondencia canónica (CCA), conglomerados (cluster), análisis discriminante, escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), entre otros.

11 Identificación del escenario de línea base y adicionalidad

Para demostrar que las actividades del proyecto generan Créditos de Carbono Verificados (CCV) que representan reducciones o remociones de emisiones de GEI adicionales, el titular del Proyecto debe seguir las orientaciones contenidas en la Guía BCR "Baseline and additionality"⁴². La guía contiene las disposiciones relativas a la adicionalidad y la línea de base para los proyectos bajo el Estándar BCR.⁴³

Por otra parte, los titulares de los proyectos de GEI deben demostrar que las reducciones de emisiones (o remociones) no corresponden a reducciones de emisiones atribuibles a la implementación de acciones exigidas por ley.

12 Identificación de motores de transformación

Para la identificación de motores de transformación se propone realizar un análisis prospectivo, que es un método que incluye la acción, la apropiación y la anticipación

⁴¹ Kenkel, N. (2006). On selecting an appropriate multivariate analysis. Department of Botany, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada R3T 2N2

⁴² Disponible en https://biocarbonstandard.com/wp-content/uploads/BCR_additionality.pdf

⁴³ La Guía BCR de línea base y adicionalidad es una orientación obligatoria que comprende los requisitos establecidos para garantizar una estimación realista y conservadora de la línea base de las emisiones; además, proporciona los requisitos para garantizar que las actividades son adicionales en todos los sectores elegibles. En: https://biocarbonstandard.com/wp-content/uploads/BCR_additionality.pdf

como bases para establecer puntos de partida a futuro⁴⁴. Se basa en jerarquías de influencia y dependencia “de” y “sobre” cada una de las variables, evitando el sesgo entre los componentes identificados⁴⁵.

La identificación de los motores de transformación se realiza en dos pasos:

- (a) Revisión de literatura del área de proyecto;
- (b) Realización de espacios concertados con actores locales, incluyendo participantes que representen a la sociedad civil, los gremios o sectores productivos, las organizaciones locales y el sector público.

Para definir la influencia y dependencia de los motores de transformación en el área del proyecto se sugiere el uso del Software MICMAC⁴⁶. En el MICMAC se agregan cada uno de los motores identificados (incluyendo una sigla y su definición conceptual), para su posterior calificación.

Tabla 7. Criterios para calificación de motores de transformación a partir del concepto de los actores consultados y la información secundaria disponible.

Puntaje	Influencia
0	Nula
1	Baja
2	Moderada
3	Alta

A partir de los criterios valorados y de la escala descrita en la [Tabla 7](#), se ubican los valores dentro de la Matriz de influencia directa (MID), considerando la influencia del motor A sobre los demás (dependencia), y la dependencia del motor A ejercida hacia los demás (influencia), descrita en la Figura 1.

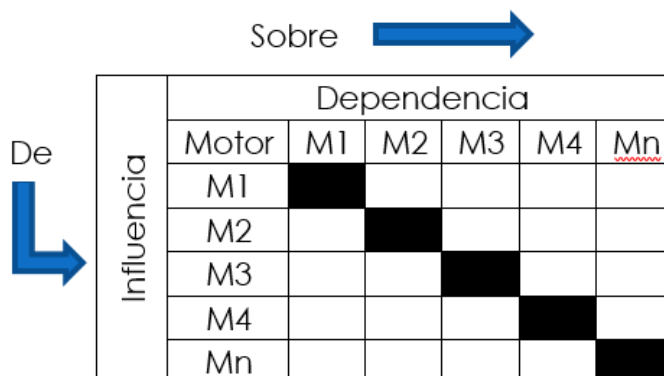
El resultado del análisis será una salida gráfica a manera de plano cartesiano donde, a partir de la ubicación espacial de los diferentes motores, se podrá identificar la categorización y, por tanto, los criterios de priorización que podrán tomar las acciones a futuro.

⁴⁴ Martín, J.A. (1995). Prospectiva tecnológica: Una introducción a su metodología y a su aplicación en distintos países. Madrid: Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica. 55 p.

⁴⁵ Senhadji-Navarro, K., Ruiz-Ochoa, M. A., & Rodríguez Miranda, J. P. (2017). Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: una evaluación prospectiva. Colombia forestal, 20(2), 191-200

⁴⁶ Software de libre acceso. Se sugiere el uso de la versión 6.1.2 2003/2004.

Figura 1. Matriz de influencia directa (MID) para captación de datos de la calificación para los motores de transformación.



Fuente: Protocolo para la estimación de contenidos de carbono en humedales del Magdalena medio y bajo.

Aquellos motores de influencia y dependencia baja serán considerados como autónomos, aquellos de baja influencia y mucha dependencia serán el resultado de algunas acciones, los motores determinantes serán aquellos que tengan mucha influencia y baja dependencia, mientras que, los motores clave (aquellos en donde se podrán concentrar los esfuerzos) tendrán mucha influencia y dependencia, tal y como se ve en la [Figura 2](#).

Figura 2. Interpretación del mapa de influencia y dependencia indirecta del análisis prospectivo dentro del MICMAC.



Fuente: Protocolo para la estimación de contenidos de carbono en humedales del Magdalena medio y bajo.

Para la interpretación de los resultados, deben considerarse tanto el mapa de influencia indirecta (para la priorización) como la gráfica de influencias indirectas (para la determinación de las interacciones). Esto con base en que éstos son el producto del análisis directo establecido por medio de la calificación de los actores participantes. Los

resultados de estos análisis deben usarse para determinar las actividades del proyecto que pueden disminuir la presión de transformación de las coberturas naturales.

Por otra parte, mediante un análisis basado en sistemas de información geográfica (SIG) pueden identificarse los factores de transformación en los ecosistemas. Al integrar datos geoespaciales sobre variables ambientales, como cobertura terrestre, uso del suelo, calidad del agua, entre otros, con datos económicos y sociales, se logran visualizar patrones y relaciones espaciales. Por ejemplo, análisis de proximidad, análisis de densidad, interpolación espacial, análisis de correlación, entre otros.

13 Actividades del proyecto

Las actividades de conservación, restauración deben diseñarse a partir de la evaluación de las condiciones ambientales y sociales en el área del proyecto. El diseño de cada actividad del proyecto debe incluir como mínimo, lo siguiente:

- (a) ID de la actividad;
- (b) Relación actividad con la reducción y/o remoción de emisiones de GEI;
- (c) Mecanismo de consulta para la definición de las actividades del proyecto y aspectos de la construcción participativa (si aplica);
- (d) Responsabilidad y rol de los actores que participan en la implementación de la actividad;
- (e) Cronograma de implementación;
- (f) Indicadores para reportar los avances de la actividad: nombre, tipo⁴⁷, meta⁴⁸, unidad de medida y responsable de la medición.

Las actividades del proyecto deben estar encaminadas a fomentar la conectividad y rehabilitación de los ecosistemas acuáticos y terrestres, para contribuir con la conservación de especies y modos de vida de los pobladores locales. A continuación, se listan algunas de las actividades que pueden ser implementadas por el titular del proyecto de acuerdo con el objetivo propuesto.

13.1 Actividades de conservación

Actividades para la reducción de emisiones generadas por evitar la transformación de áreas de humedal natural continental (actividades de conservación):

- Acciones de restauración ecológica de áreas degradadas, por ejemplo el establecimiento de herbáceas, arbustos, árboles, enredaderas. Así como

⁴⁷ Resultado, producto o impacto.

⁴⁸ Valor esperado y tiempo para su cumplimiento.

estrategias complementarias que incluyen perchas para aves y refugios para murciélagos, entre otras acciones que promueven la restauración del ecosistema;

- Uso de energías alternativas (eólica, fotovoltaica, biogás) para reducir las presiones sobre las coberturas naturales vegetales;
- Aprovechamiento de los residuos pecuarios para producir compost y usarlo para mejorar suelos;
- Instalación de infraestructura destinada al manejo pecuario y nutricional en confinamiento temporal (manejo en semi estabulación por horas/día) con el fin de reducir la compactación de suelos en áreas naturales y de potreros;
- Alternativas productivas como la piscicultura en estanques;
- Destaponamiento de caños y retiro de especies invasoras;
- Rehabilitación de hábitats terrestres y/o acuáticos;
- Acompañamiento técnico en procesos productivos, manejo de residuos sólidos y líquidos y posibles prácticas para su posterior aprovechamiento.

13.2 Actividades de restauración

Actividades de forestación, reforestación y/o revegetación (ARR)⁴⁹, determinadas como acciones de restauración, en áreas que han sido transformadas:

- Revegetación con sistemas forestales destinados al uso de madera, para postería, leña o infraestructura con el fin de reducir las presiones sobre las especies nativas;
- Establecimiento de bancos mixtos de forrajes destinados a la producción de alimento para las especies pecuarias, con el fin de reducir la ampliación de frontera agrícola;
- Implementación de herramientas de manejo del paisaje. Estas herramientas pueden incluir sistemas agroforestales, cercas vivas, árboles aislados en potreros, corredores biológicos, y bancos dendroenergéticos, entre otras;
- Recuperar las rondas hídricas de las microcuencas y/o nacimientos con distintos tipos de coberturas vegetales de diferentes estratos o hábitos de crecimiento para la prevención de la erosión de suelos y sedimentación de fuentes hídricas;

⁴⁹ Para el cálculo de las remociones atribuibles a estas actividades deberá aplicarse la metodología BCR0001

- Recuperación de zonas de transición del humedal con procesos de restauración, siguiendo un método sucesional estratificado;

14 Estimación de las reservas de carbono

14.1 Delimitación del área del proyecto y análisis multitemporal

Para delimitar el área del proyecto se proponen los seis pasos siguientes: i) definición de escalas, ii) delimitación del humedal, iii) identificación y selección de insumos, iv) procesamiento de insumos, v) monitoreo de datos de actividad y, vi) consolidación y reporte.

La definición de escalas propone alcanzar una escala de 1:25.000 con el uso de imágenes de satélite ópticas, como PlanetScope, Sentinel-2 o RapidEye, con una periodicidad de 2 años para el monitoreo y definiendo diferentes temporalidades para cada año de análisis según los regímenes modales. En cuanto a la delimitación, deben considerarse elementos geomorfológicos, edáficos e hidrológicos para iniciar un proceso de delimitación que permita establecer los límites del proyecto.

Posteriormente debe llevarse a cabo el alistamiento de la información requerida. Esta incluye las imágenes de satélite y demás información que soporte y aporte a la definición del uso de la tierra, como censos, estadísticas y demás capas geográficas con información espacial de escalas y fuentes diversas.

Con los insumos listos y disponibles, se procede con el procesamiento digital de las imágenes seleccionadas mediante métodos semiautomatizados y algoritmos de análisis de cambios a lo largo del tiempo para el cálculo de los indicadores pertinentes para las zonas terrestres y acuáticas de forma diferenciada.

Para las imágenes, ya sea satelitales, ópticas o radar deben aplicarse enfoques establecidos para el preprocesamiento de datos. La [Tabla 8](#) y la [Tabla 9](#) presentan la información de las imágenes sugeridas para la delimitación de los humedales y en general para cualquier procesamiento relacionado con la aplicación de la metodología.

Tabla 8. Imágenes satelitales ópticas

Satélite ópticas	Propietario	Resolución espacial	Resolución espectral	Resolución radiométrica	Resolución temporal	Expectativa	Tipo de acceso
Landsat 7	NASA USGS	30 m 15 m Pan	8 bandas	8 bits	16 días	1999 -Actual	Gratuito
Landsat 8	NASA USGS	30 m 15 m Pan	11 bandas	8 bits	16 días	2013 - Actual	Gratuito
Sentinel 2	Agencia Espacial Europea (ESA)	10 m 20 m 60 m	13 bandas	12 bits	5 días	2015 - Actual	Gratuito
RapidEye	RapidEye AG	6,5 m	5 bandas	12 bits	Diaria	2008	Comercial

Satélite ópticas	Propietario	Resolución espacial	Resolución espectral	Resolución radiométrica	Resolución temporal	Expectativa	Tipo de acceso
Spot 6/7	Airbus	6 m 1,5 m Pan	5 bandas	12 bits	Diaria	2012 – Actual	Comercial
PlanetScope	Planet Labs	3 m	4 bandas	12 bits	Diaria	2015 – Actual	NICFI (Nivel 1) Comercial
QuickBird	DigitalGlobe	2,62 m 0,65 m Pan	5 bandas	11 bits	1 – 3,5 días	2001 - 2015	Comercial
Pléiades	Airbus	2 m 0,5 m Pan	5 bandas	12 bits	Diaria	2011 – Actual	Comercial
WorldView 4	Ball Aerospace	1,24 m 0,31 Pan	5 bandas	11 bits	Diaria	2016 – Actual	Comercial

Tabla 9. Imágenes satelitales de radar

Satélite radar	Propietario	Resolución espacial	Banda	Polarización	Expectativa	Tipo de acceso
Sentinel 1	Agencia Espacial Europea (ESA)	9 – 40 m	C	VV HH VV+VH HH+HV	2014 – Actual	Gratuito
Radarsat - 2	Agencia Espacial Europea (ESA)	3 – 20 m	C	Selectiva: (HH y HV) o (VH y VV) Single: (HH) Quad: (HH, VV, HV, VH) Selectiva Single: (HH) o (HV) o (VH) o (VV)	2005 – Actual	Comercial
Kompsat 5	Instituto de Investigación Aeroespacial de Corea (KARI)	1 – 20 m	X	Single (HH o VV) Dual (HH/VV o HH/VH o VV/HV)	2013 – Actual	Comercial
TerraSAR-X	Centro Espacial Alemán (DLR)	0,5 – 40 m	X	Single (HH o VV) Dual (HH/VV o HH/VH o VV/HV)	2007 – Actual	Comercial

Los pasos requeridos para el procesamiento digital de imágenes a partir de algoritmos de clasificación varían según el software de procesamiento o plataforma digital, por ejemplo, para los procesos realizados en la plataforma de libre acceso *Google Earth Engine* (GEE) son los siguientes:

- Cargar el archivo del límite del área de estudio (*shapefile*) y buscar el catálogo de imágenes a utilizar para la clasificación.
- Seleccionar la imagen o el mosaico (compuesto temporal de medianas) con cubrimiento de la ventana de monitoreo, la temporalidad de interés y el porcentaje de nubosidad adecuado (<20%).
- Agregar los puntos o áreas de entrenamiento a partir de los cuales el algoritmo ejecuta la clasificación de las clases definidas. Corresponden a archivos *shapefile* creados previamente a partir de datos capturados en campo o mediante interpretación visual.

- (d) Ejecutar el algoritmo de clasificación seleccionado (supervisada o no supervisada).
- (e) Visualizar la clasificación de acuerdo con la paleta de colores insertada en el código creado para el proceso.
- (f) Exportar resultados en formato de imagen ráster para su post procesamiento en software SIG.

Al obtener los resultados debe realizarse un proceso de unión de las capas de diferentes temporalidades. La capa resultante se visualiza en el software SIG donde se despliega la tabla de atributos para crear un nuevo campo denominado ‘Código’. El código asignado en cada campo hará referencia al cambio visualizado entre los datos de la capa del año 1 y los del año 2, y corresponden a los cambios presentados en el uso de la tierra según los indicadores propuestos para análisis de detección de cambios en humedales.

14.2 Estratificación de las coberturas naturales en el área del proyecto

La estratificación hace referencia a la división de un paisaje heterogéneo en secciones (o estratos) utilizando un factor común de agrupamiento, que tiene como objetivo estimar los depósitos de carbono de forma precisa y lo más efectiva posible.⁵⁰

La cobertura vegetal es una de las principales características de los humedales. Esta característica se usa comúnmente para la identificación y delimitación de humedales, así como para la elaboración de sistemas de clasificación.⁵¹ Adicionalmente, la cuantificación de la biomasa vegetal constituye un componente clave para la determinación del carbono almacenado en los ecosistemas de humedal y, por tanto, para la aplicación de esta metodología se propone la estratificación para los humedales continentales según el tipo de vegetación y las características edafológicas.

Por lo general en los humedales naturales continentales la zonificación de la vegetación no es homogénea, sino que se presenta una transición que va desde el espejo del agua hasta la zona de plano de inundación. Por esta razón es necesario llevar a cabo un proceso de estratificación, con el propósito de mejorar la precisión con respecto a las estimaciones de biomasa en el proyecto.

La estimación de los contenidos de carbono en la biomasa, de coberturas naturales vegetales diferentes a bosque, incluye la vegetación acuática y de zonas de transición entre la superficie de agua y tierra firme.

⁵⁰ Kauffman JB, Donato DC y Adame MF. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR. Disponible en: https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/WPapers/WP117Kauffman.pdf

⁵¹ U.S. EPA. 2002. Methods for Evaluating Wetland Condition: Wetlands Classification. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-822-R-02-017. Disponible en https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/wetlands_7classification.pdf

El titular del proyecto debe identificar los estratos para el escenario de línea base y para el cálculo de los resultados de mitigación. De este modo se optimiza la precisión en la estimación de las reducciones de emisiones o remociones de GEI. En particular:

- (a) Para el escenario de línea base, usualmente es suficiente estratificar el área del proyecto de acuerdo con las categorías de uso de la tierra o coberturas,
- (b) Para el escenario con proyecto, la estratificación puede basarse en los planes de conservación y restauración del humedal.

En las áreas clasificadas como humedal, la biomasa proviene de dos fuentes importantes según el tipo de vegetación, de esta forma se define la biomasa vegetal, proveniente de coberturas tipo no bosque.

Para las áreas del humedal que se encuentran con cobertura natural vegetal (cobertura tipo no bosque).

Cobertura tipo no bosque⁵²: Vegetación acuática flotante y enraizada emergente, que se encuentre sobre el espejo de agua y la vegetación de pantano que puede incluir elementos herbáceos y arbustivos. A continuación, se enumeran sus características:

- Vegetación acuática (macrófitas asociadas a humedales de agua dulce).
- Vegetación herbácea (dominada por plantas con altura entre 0.3 y 1.5m) y vegetación a nivel del suelo dominada por plantas herbáceas con altura menor a 30cm.
- Vegetación de tipo arbustiva (plantas con altura entre 1.5 y 5m).

En la [Figura 3](#) se presentan los componentes de vegetación asociados a cada tipo de cobertura.

Para las coberturas diferentes a cobertura natural vegetal, sobre las cuales se llevarán a cabo las actividades de restauración, deberá llevarse a cabo una estratificación basada en los tipos de cobertura y uso de la tierra, utilizando las categorías definidas por la metodología CORINE Land Cover, o aquella aplicable en el país en el cual se desarrolla el proyecto.

⁵² Esta metodología incluye únicamente las coberturas “Tipo no bosque”.

Figura 3. Componentes de vegetación en los estratos para cuantificación de carbono en humedales⁵³



Fuente: Protocolo para la estimación de contenidos de carbono en humedales del Magdalena medio y bajo

14.3 Diseño de muestreo en campo

Para estimar las reservas de carbono en cada uno de los estratos identificados, se requiere el establecimiento de parcelas temporales de muestreo, cuya cantidad depende del número de estratos presentes en los límites del proyecto. Dichas parcelas permitirán monitorear los cambios en las reservas de carbono. Todas las parcelas deben estar debidamente numeradas, georreferenciadas y ubicadas dentro de un mapa de áreas establecidas en los límites del proyecto.

14.3.1 Tamaño de las parcelas o unidades de muestreo

De acuerdo con el diseño estadístico de muestreo estratificado, el número de parcelas de muestreo debe determinarse con base en la precisión requerida y su relación con la variabilidad de las existencias de carbono.

Las parcelas deben establecerse de manera perpendicular a la orilla, y desde la orilla hacia la zona de pantano y de ribera (zona de transición) hacia tierra firme, para poder considerar realmente la variación de estratos. Además, deben establecerse durante el periodo de aguas bajas (periodo seco) para poder fijar los límites de forma adecuada. Si esto no es posible, se recomienda desplazarse unos metros, alejándose del espejo de agua, hasta encontrar una zona en donde puedan fijarse las estacas de demarcación, y de este modo incluir la vegetación acuática ubicada en ese límite.

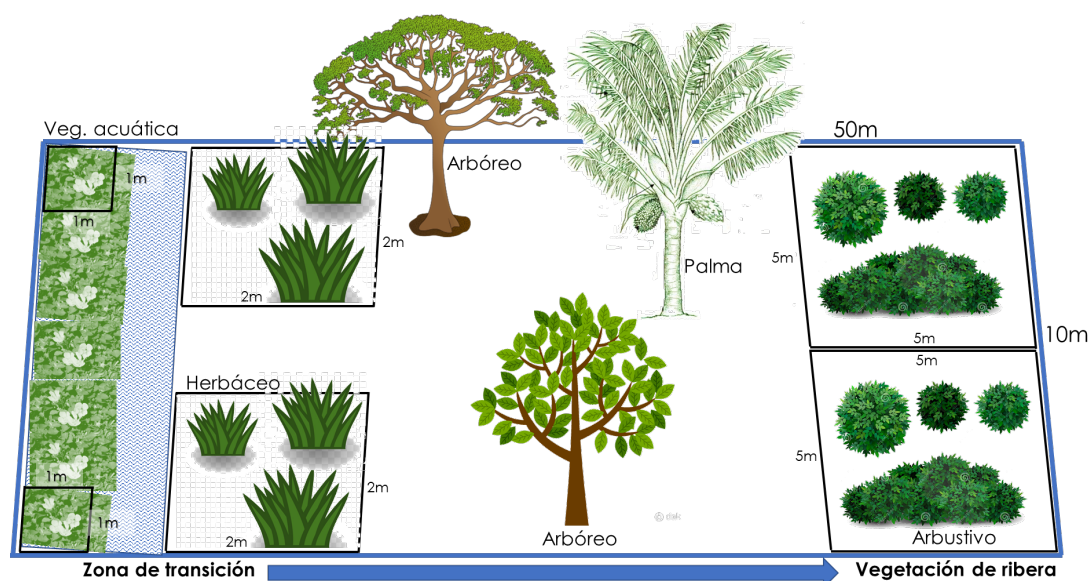
⁵³ Andramunio-Acero et al (2024). Protocolo para la estimación de contenidos de carbono en humedales del Magdalena medio y bajo. Fundación Natura Colombia, Ecopetrol e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Colombia. Disponible en: https://natura.org.co/wp-content/uploads/2024/02/V1_Documento-metodologico-Protocolo-Carbono-Humedales-08-02-24.pdf

Se requiere el uso de parcelas rectangulares de 50 m x 10 m, para un área total de 500 m², diseño anidado, lo cual permite considerar las variaciones de composición y estructura a través del tiempo. Este modelo está compuesto por una parcela grande y dentro de ésta, subparcelas más pequeñas, de acuerdo con los parámetros de estudio de la vegetación⁵⁴.

En la parcela grande se monitorean los elementos arbóreos; al interior de la parcela se definen dos subparcelas de 25 m² para los elementos arbustivos, dos subparcelas de 4 m² para el monitoreo del estrato herbáceo, finalmente dos subparcelas de 1 m² para el monitoreo de la vegetación acuática que se encuentre en el espejo de agua ([Figura 4](#)).

En caso de que no se encuentren elementos arbustivos en el área muestreada, se recomienda realizar el levantamiento de información de este estrato en el área total de la parcela.

Figura 4. Diseño de la parcela para la estimación de depósitos de carbono asociados la vegetación



Fuente: Protocolo para la estimación de contenidos de carbono en humedales del Magdalena medio y bajo.

14.3.2 Tamaño de la muestra

Con el fin de obtener la información requerida⁵⁵ para el cálculo del número de parcelas necesarias, debe llevarse a cabo un muestreo preliminar. La cantidad de parcelas para

⁵⁴ Kauffman JB, Donato DC y Adame MF. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR. Disponible en https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/WPapers/WP117Kauffman.pdf

⁵⁵ El valor aproximado de la desviación estándar de las reservas de biomasa, en cada estrato y/o lote.

el muestreo preliminar se define por el número de estratos y la intensidad de muestreo seleccionada.

El tamaño de muestra (n) se estima con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{A_i \times 10.000 \times \text{Intensidad de muestreo}^{56}}{AP} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

- n Número de parcelas requeridas para la estimación de la biomasa; sin dimensión
- A_i Tamaño de cada estrato i ; ha
- AP Tamaño de parcela (constante para todos los estratos); ha.

Para calcular el número de parcelas de muestreo (n), es necesario conocer el error, en porcentaje (E), la desviación estándar (s) conocida de datos previos, y asociada con la cantidad biomasa por estrato, así como el valor t de *Student* para una probabilidad dada ($\alpha = 0,05$).

De acuerdo con UNFCCC (2010)⁵⁷, se requiere que la precisión de muestreo esté dentro del 10% del valor real de la media, con un 95% de nivel de confianza.

Kauffman JB, Donato DC y Adame MF (2013) proponen un cálculo para determinar el número de parcelas⁵⁸, de la siguiente manera:

$$n = \left(\frac{(t * s)}{E} \right)^2 \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

- n = Número mínimo de parcelas
- t = Estadístico de la distribución t para el intervalo de confianza de 95%⁵⁹
- s = Desviación estándar esperada, o conocida de datos previos o iniciales
- E = Error admisible en la primera mitad del intervalo de confianza⁶⁰

⁵⁶ El titular del proyecto debe seleccionar la intensidad de muestreo, dependiendo de los valores apropiados para este tipo de muestreos.

⁵⁷ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2010. Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities. Disponible en: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-03-v2.1.0.pdf/>

⁵⁸ Kauffman JB, Donato DC y Adame MF. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR. Disponible en https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/WPapers/WP117Kauffman.pdf

⁵⁹ t es generalmente 2, ya que este momento el tamaño de la muestra es desconocido

⁶⁰ Obtenido de multiplicar el promedio de la reserva de carbono, por la precisión esperada, i.e. $*0,1$ (precisión del 10%).

14.3.3 Localización de las parcelas en sitio

La localización de las unidades de muestreo debe determinarse de manera aleatoria o sistemática. En el caso del muestreo aleatorio, con puntos seleccionados al azar, debe evitarse la localización subjetiva de las parcelas (centro de las parcelas, puntos de referencia de la parcela o movimiento del centro de la parcela a una posición más “conveniente”), siguiendo el principio de aleatoriedad⁶¹.

La localización y georreferenciación en campo, con el uso de GPS, permite el fácil acceso y ubicación. Las parcelas de muestreo deben identificarse con series de códigos alfanuméricos y la información de su posición geográfica (coordenadas geográficas del GPS), la localización de la unidad muestral y los estratos deben ser registrados y archivados.

14.4 Estimación del contenido de carbono en la biomasa y en el suelo

14.4.1 Variables para la estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea, subterránea y materia orgánica

En la [Tabla 10](#) se presentan las variables requeridas para la determinación de biomasa en cobertura tipo no bosque.

Tabla 10. Definición de variables para la determinación de biomasa en cobertura tipo no bosque

Depósito de carbono	Método	Variables – método directo
Biomasa no arbórea aérea (B_{NAA})	Para la vegetación de tipo herbáceo y acuático se emplea el método directo, el cual consiste en cosechar a ras del suelo (o sobre el espejo de agua para el caso de las macrófitas) todo el material que se encuentre dentro de la subparcela o cuadrante definidos para tal fin. Para la vegetación de tipo arbustiva la determinación de la biomasa aérea se realiza de forma indirecta empleando ecuaciones alométricas.	Peso fresco (kg) Peso seco (kg) Contenido de C (%)
Biomasa no arbórea subterránea (B_{NAS})	Para la vegetación acuática se emplea el método directo, en el cual de la muestra cosechada para el ítem anterior se separa por aparte el sistema radicular de la macrófita.	

⁶¹ En el caso de un muestreo estratificado, se localiza el centroide del polígono seleccionado y se utiliza dicho centroide para la ubicación de la parcela. En el caso de no lograr acceder al centroide, por temas logísticos, se valida que se estaba dentro del estrato definido y se ubica la parcela de forma aleatoria.

Depósito de carbono	Método	Variables – método directo
	Para la vegetación de tipo arbustiva, la determinación de la biomasa radicular se realiza de forma indirecta empleando ecuaciones alométricas.	
Materia orgánica muerta (MOM)	Peso fresco, Peso seco, Contenido de C (%)	

14.4.2 Estimación de las cantidades de biomasa a partir de métodos indirectos

El titular del proyecto debe emplear, preferiblemente, ecuaciones específicas para la zona (a nivel local y nacional) en la que se localiza el proyecto. De no ser posible, puede usar ecuaciones generales empleadas en otras regiones, siempre y cuando las condiciones en las cuales fueron generadas sean similares a las del área del proyecto⁶².

14.4.2.1 Biomasa aérea arbórea (B_{ARA})

La B_{ARA} , expresada en kilogramos (kg), se calcula para los individuos arbóreos muestreados utilizando la(s) ecuación(es) que mejor se ajusten a las condiciones del área del proyecto. En la [Tabla 11](#) se presentan algunas ecuaciones de referencia.

Tabla 11. Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa área de árboles y palmas aplicables a la cobertura de bosque en áreas de humedal continental

Referencia	Hábito	Ecuación biomasa aérea	Procedencia	Variables que considera
Chave <i>et al.</i> (2015)	Árbol	$BA = 0,0673 \times ((\rho D^2) \times H)^{0,976}$	Tropical	DAP (D; cm), densidad de madera (ρ ; kg/m ³), altura total (H)
Álvarez <i>et al.</i> (2012)		$B = \exp(2,406 - 1,289 \times \ln(D) + 1,169 \times (\ln(D))^2 - 0,122(\ln(D))^3 + 0,445 \ln(\rho))$	Tropical húmedo. Colombia	DAP (D; cm), densidad de madera (ρ ; kg/m ³)
Hughes <i>et al.</i> (1999)	Palmas	$B = (\exp(3,627 + 0,5768 \ln(H \times D^2))) \times 1,02/10^6$	Palmas México	DAP (D), altura total (H)

Dependiendo de la ecuación utilizada, la B_{ARA} se expresa en función del diámetro normal (D), la densidad específica de la madera (ρ) y la altura de los árboles (H).

⁶² Se sugiere priorizar el uso de ecuaciones alométricas a nivel de especie, género o familia.

Una vez calculada la B_{ARA} de cada individuo, se obtiene la B_{ARA} total de cada parcela (B_{ARAT}) al sumar la B_{ARA} de todos los árboles vivos registrados. La B_{ARAT} posteriormente se calcula en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

14.4.2.2 Biomasa arbórea subterránea o radicular (B_{ARS})

La B_{ARS} se estima a partir de la B_{ARA} para cada parcela⁶³ ([Ecuación 22](#)).

$$B_{ARS} = 0,489 \times B_{ARA}^{0,890} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

B_{ARS} = biomasa arbórea subterránea o radicular; kg
 B_{ARA} = biomasa aérea arbórea; kg

14.4.3 Estimación de la biomasa a partir de métodos directos

Para la cobertura no arbórea (herbácea y acuática) se usa el método directo que consiste en cosechar el material, en las subparcelas definidas para tal fin. Se pesa en fresco, se toma una muestra de 300 gr. y se seca en un horno a 60°C entre 24 y 72 horas hasta obtener un peso constante.

14.4.3.1 Biomasa no arbórea aérea (B_{NAA})

El valor de B_{NAA} se estima a partir de la [Ecuación 23](#).

$$B_{NAA} = \left(\frac{PS_m}{PH_m} \right) \times PH \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

B_{NAA} = biomasa seca, aérea no arbórea; kg
 PS_m = peso seco de la muestra llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad; kg
 PH_m = peso húmedo de la muestra llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad; kg
 PH = peso húmedo del material cosechado en campo; kg

14.4.3.2 Biomasa no arbórea subterránea (B_{NAS})

El valor de B_{NAS} se estima a partir de la [Ecuación 24](#).

⁶³ Usando la ecuación sugerida por Cairns et al. (1997): Cairns, Michael & Brown, Sandra & Helmer, E. & Baumgardner, Greg. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*. 111. 1-11. 10.1007/s004420050201

$$B_{NAS} = \left(\frac{PS_m}{PH_m} \right) \times PH \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

B_{NAS}	=	biomasa seca, no arbórea, subterránea; kg
PS_m	=	peso seco de la muestra llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad; kg
PH_m	=	peso húmedo de la muestra llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad; kg
PH	=	peso húmedo del material cosechado en campo; kg

14.4.3.3 Biomasa presente en la hojarasca (B_{MOM} – Biomasa Materia Orgánica Muerta)

El valor de B_{MOM} se estima a partir de la [Ecuación 25](#).

$$B_{MOM} = \left(\frac{PS_{MOM_m}}{PH_{MOM_m}} \right) \times PH_{MOM} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

B_{MOM}	=	biomasa de la Materia Orgánica Muerta cosechada en campo; kg
PS_{MOM_m}	=	peso seco de la muestra llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad; kg ⁶⁴
PH_{MOM_m}	=	peso húmedo de la muestra llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad; kg
PH_{MOM}	=	peso húmedo del material cosechado en campo; kg

14.4.3.4 Biomasa total (B_T)

La B_T , por parcela, se calcula como:

$$B_T = \sum_{i=1}^n B_{ARA} + B_{ARS} + B_{NAA} + B_{NAS} + B_{MOM} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

B_T	=	Biomasa total; kg
B_{ARA}	=	biomasa aérea arbórea; kg
B_{ARS}	=	biomasa arbórea subterránea o radicular; kg
B_{NAA}	=	biomasa no arbórea aérea; kg
B_{NAS}	=	biomasa no arbórea subterránea; kg

⁶⁴ Separar una muestra (250-300gr) para los análisis de laboratorio (peso seco).

B_{MOM} biomasa de materia orgánica muerta; kg

14.4.4 Estimación del contenido de carbono orgánico en el suelo

Para establecer el contenido de carbono en el suelo, debe aplicarse la metodología propuesta por el IPCC: Directrices para Inventarios Nacionales de Carbono y GEI, Volumen 4 (“Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra” - AFOLU) que incluye el método para cuantificación de carbono en humedales (suelos orgánicos y suelos minerales de humedales continentales)⁶⁵.

A continuación, se presenta el proceso metodológico propuesto.

Preparación de información básica

Los titulares de proyectos deben emplear los estudios oficiales de suelo, considerando el inventario de suelos del área del proyecto, con su respectiva clasificación de acuerdo con el sistema USDA (cartografía oficial de suelos).

Las variables a incluir, para determinar la dinámica del carbono y de GEI en suelos y sedimentos son: densidad aparente, carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica de suelos (MOS) y textura (contenido de arena, limo y arcilla).

Homologación de suelos USDA/IPCC y su asociación con la vegetación y los usos de la tierra

Con la información básica, se considera la clasificación de suelos, integrando la homologación de suelos USDA/IPCC con las unidades de vegetación y cobertura y uso de la tierra, de acuerdo con la [Tabla 12](#), a continuación.

Tabla 12. Homologación de suelos USDA/IPCC

Orden de suelos (USDA)	SIGLA USDA	Propiedad determinante	Tipo de suelos (IPCC)	SIGLA IPCC
Histosoles	IST	Orgánico	Suelos Orgánicos	O
Andisoles	AND	Volcánico	Suelos Volcánicos	VC
Entisoles Inceptisoles	ENT EPT	Textura gruesa (> 70% arena)	Suelos Arenales	AR
		Textura finas, muy finas o moderadamente finas (< 70% arena)	Otros suelos Minerales	OM
		Régimen de humedad ácuico	Suelos de Humedales	H
Molisoles	OLL	Arcillas de alta actividad	Arcillas de alta actividad	HAC
Vertisoles	ERT			
Alfisoles	ALF			
Aridisoles	ID			

⁶⁵ IPCC, 2006

Orden de suelos (USDA)	SIGLA USDA	Propiedad determinante	Tipo de suelos (IPCC)	SIGLA IPCC
Ultisoles	ULT	Arcillas de baja actividad	Arcillas de baja actividad	LAC
Oxisoles	OX			
Espodosoles	OD	Arcillas de baja actividad con material espódico	Espódicos	OD
Gelisoles	EL	Suelos congelados hasta su máxima profundidad en algún momento del año	En condiciones tropicales no es posible su desarrollo	

Selección de los puntos de muestreo para validación en campo

Mediante la selección de polígonos, se lleva a cabo una verificación en campo para determinar la viabilidad del muestreo, la posibilidad de acceso al sitio (tanto en aguas altas como bajas), análisis de coberturas y usos de la tierra y otras consideraciones a tener en cuenta, al momento de la toma de muestras.

Muestreo de suelos y sedimentos

El muestreo de suelos puede hacerse mediante el “sistema de cajuela”. Esto debe llevarse a cabo en las parcelas establecidas para el muestreo de biomasa aérea (parcela de vegetación), con tres repeticiones por parcela. Para los sedimentos deben tomarse muestras de fondo acuático, a diferentes profundidades. Igualmente, deben tomarse muestras a borde de agua, en sitios asociados con las parcelas de muestreo para vegetación acuática.

En cualquiera de los casos deben hacerse al menos tres repeticiones en cada sitio. Deben diferenciarse los suelos de sedimentos por el contenido de carbono orgánico, ya que solamente en los suelos se almacena carbono orgánico. El contenido de carbono de sedimentos, está asociado a organismos bentónicos y residuos de biomasa.

Para determinar la densidad aparente, las muestras de suelo se toman con cilindros muestreadores de volumen conocido, específicos para este tipo de muestreo. Estas muestras deben ser tomadas para cada profundidad seleccionada. Se depositan en bolsas independientes y etiquetadas y, se incluyen con la muestra de suelo para COS y textura. Una vez tomadas las muestras deben ser enviadas al laboratorio para el análisis.

14.4.4.1 Contenido de carbono en suelos

Carbono orgánico del suelo (COS)

Se realiza en laboratorio especializado mediante métodos como combustión seca o en húmedo que determinan el porcentaje de carbono orgánico del suelo. El método de combustión seca (Walkley – Black) es el más usado para esta determinación. Para el

cálculo de COS en términos de toneladas por hectáreas se tiene en cuenta el espesor de los horizontes, la densidad aparente y un factor de corrección por fragmentos de roca (FAO, 2020)⁶⁶.

Para estimar los contenidos de carbono en el suelo, se calcula la densidad aparente (Ecuación 27 y Ecuación 28) y la concentración de carbono (Ecuación 29) en las profundidades de 0-30 cm.

$$Densidad\ aparente = \frac{\text{Peso de masa seca de suelo (g)}}{\text{Volumen de suelo (cm}^3\text{)}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$Volumen = \pi \times r^2 \times h \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde r es el radio del cilindro y h la altura del cilindro.

$$C = \text{Concentración} \times (\text{Densidad} \times 100) \times \text{Profundidad} \quad \text{Ecuación 29}$$

Para determinar el contenido de carbono, a diferentes profundidades, se calcula el promedio ponderado, determinado el contenido de carbono en cada capa. Para determinar el contenido de carbono orgánico en el suelo se suma el resultado obtenido hasta la profundidad máxima requerida⁶⁷.

En los casos en los que los suelos presentan alguna limitación que impida la toma de muestras para la determinación de la densidad aparente, se recomienda aplicar el modelo definido por IGAC-IAvH (2018)⁶⁸, en el cual a partir de la caracterización de un total de 929 perfiles de suelos, se realiza la correlación de la textura analizada por el método de Bouyoucos y para obtener la densidad aparente de los suelos se aplica la siguiente ecuación:

$$Den_{Apa} = 1,331 + 0,0001A - 0,070COS \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$$\begin{aligned} Den_{Apa} &= \text{densidad aparente del suelo; g/cm}^3 \\ A &= \text{Contenido de arena en el suelo; porcentaje} \end{aligned}$$

⁶⁶ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020). Technical specifications and country guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq). Rome, FAO. (also available at: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cbo353en/>).

⁶⁷ Honorio, C., Baker, T. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. Lima, 54 p.

⁶⁸ Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) – Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). (2018). Análisis de resultados del contenido de carbono orgánico en los suelos de ecosistemas de páramos y humedales de Colombia. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

COS = Contenido de Carbono Orgánico en el suelo; porcentaje

A partir de los datos de densidad aparente y teniendo como referencia la profundidad muestreada se determina el contenido de carbono orgánico en el suelo, a partir de la siguiente ecuación:

$$COS = Den_{Apa} \times A \times P \times \frac{COS}{100} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

COS = Carbono orgánico en el suelo; kg/m²

Den_{Apa} = Densidad aparente; kg/m³

A = Área de la unidad cartográfica; m²

P = Profundidad de muestreo; m

COS = Carbono orgánico en el suelo; porcentaje

Materia orgánica del suelo (MOS)

El contenido de la materia orgánica del suelo (MOS) se determina por métodos indirectos, asociados con la conversión del carbono orgánico del suelo (COS), ya que este elemento es su principal constituyente y puede determinarse en laboratorio.

El contenido de la MOS se determina por métodos indirectos asociados con la conversión de COS. El Soil Survey Laboratory (SSL, 1996)⁶⁹ recomienda utilizar un factor de corrección igual a 1,724, asumiendo que la materia orgánica contiene un 58% de carbono orgánico.

El MOS se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$MOS = COS \times 1,724 \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

MOS = Materia orgánica del suelo; porcentaje

COS = Contenido de Carbono orgánico del suelo, determinado por el método de Walkley Black; porcentaje

⁶⁹ Burt, R., & Mays, M. D. (1996). Sample collection procedures for laboratory analysis in the United States soil survey program. Communications in soil science and plant analysis, 27(5-8), 1293-1298.

14.4.5 Estimación de la biomasa en los componentes asociados a biodiversidad

La estimación de la biomasa (como peso y/o contenido de carbono) para el grupo de biodiversidad, sugerido en la sección 10, se presenta en la [Tabla 13](#).

Tabla 13. Estimación de la biomasa en los grupos bióticos

Grupo biótico	Método
Fitoplancton	<ul style="list-style-type: none"> • Biovolumen celular medio (BvCm): según Mullin et al. (1966)⁷⁰, Edler (1979) y Hillebrand et al. (1999)⁷¹. De acuerdo con la semejanza con formas geométricas. Se realizó mediante fotografías y usando el programa de morfometría geométrica TPSdig2 ($\mu\text{m}^3/\text{ml}$ para el fitoplancton y $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$ para el ficoperifiton).
Ficoperifiton	<ul style="list-style-type: none"> • Biovolumen medio por individuo (Bvml): según Strathmann (1967)⁷²: BvCm x número medio de células • Biomasa media por individuo (Bml): Bvml x Densidad • Biomasa por sector: ΣBml de los organismos registrados en el sector.
Zooplancton	<ul style="list-style-type: none"> • Biovolumen (μm o mm dependiendo de la especie) según Ruttner-Kolisko (1977)⁷³, mediante fórmulas específicas para las formas geométricas más cercanas a la forma de cada especie y siguiendo las especificaciones de Bottrell et al. (1976) y McCauley (1984)⁷⁴ • Biomasa en peso húmedo (μgPU) según Bottrell et al. (1976) • Biomasa en peso seco (μgPS) según Pace y Orcutt (1981) y Dumont et al. (1975)⁷⁵ • Carbono (μgC) según Rossa et al. (2007) para rotíferos (48% del PS) y según King y Greenwood (1992)⁷⁶ para los grupos de artrópodos (44% del PS).
Macroinvertebrados acuáticos	<p>Mediante dos métodos, según Wetzel y Likens (2000)⁷⁷:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Directo por peso seco: secado y pesaje de los organismos (separados por taxón)

⁷⁰ Mullin, M. M., Sloan, P. R., & Eppley, R. W. (1996). Relationship between carbon content, cell volume, and area in phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 11, 307–311.

⁷¹ Edler, L. (ed., 1979). Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. The Baltic Marine Biologist. Publication No. 38 pp.

⁷² Strathmann, R. R. (1967). Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnology and Oceanography*, 12(3), 411–418.

⁷³ Ruttner-Kolisko, A. (1977). Suggestions for biomass calculations of plankton rotifers. *Archiv Für Hydrobiologie*, 8, 71–76.

⁷⁴ McCauley, E. (1984). The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples. . In J. A. Downing & F. H. Rigler (Eds.), *A manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Freshwater* (pp. 228–265). Blackwell.

⁷⁵ Pace, M. L., & Orcutt, J. D. (1981). The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnology and Oceanography*, 26(5), 822–830.

⁷⁶ Rossa, C. D., Bonecker, C., & Fulone, L. J. (2007). Biomassa de rotíferos em ambientes dulcícolas: revisão de métodos e fatores influentes. *Interciencia*, 32(4), 220–226.

⁷⁷ Wetzel, R. G., & Likens, G. (2000). *Limnological analyses*. Springer Science & Business Media.

Grupo biótico	Método
	<ul style="list-style-type: none"> Indirecto por relaciones de longitud peso, siguiendo las ecuaciones de Smock (1980)⁷⁸

Las estimaciones de biomasa y/o contenidos de carbono de biodiversidad, se proponen específicamente para los grupos de hidrobiota, excepto para las macrófitas acuáticas, consideradas en el compartimiento de B_T y MOM.

El cálculo de la biomasa de los organismos microscópicos (fitoplancton, ficoperifiton y zooplancton), así como de los macroinvertebrados, conlleva un extenso y detallado trabajo de laboratorio. Por tanto, esta metodología propone una muestra representativa (por ejemplo, 30 individuos de cada taxón) de los organismos dominantes, los más abundantes (por sitio de monitoreo) y los de mayor tamaño dentro de cada uno de dichos ensambles. La selección de los organismos dominantes puede hacerse por diferentes métodos. Por ejemplo, puede usarse la prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1981)⁷⁹, que considera tanto la abundancia, como la frecuencia de los organismos.

15 Manejo de la incertidumbre

La incertidumbre debe estimarse de acuerdo con lo establecido en la sección 6.1 o 6.2 de la herramienta metodológica del MDL para la estimación de las reservas de carbono en árboles y arbustos (según aplique)⁸⁰, como se describe en los siguientes numerales⁸¹.

Para las estimaciones de biodiversidad, no se requiere una evaluación de la incertidumbre.

15.1 Diferencia entre dos estimaciones de las reservas de carbono

El cambio en las reservas de carbono se estima como la diferencia entre dos estimaciones sucesivas e independientes, de las reservas de carbono.

Este método es eficaz cuando la correlación entre los valores de biomasa de las parcelas en las dos ocasiones es inexistente o débil (por ejemplo, cuando se ha producido una cosecha o una perturbación en un estrato después de la primera estimación, lo que da lugar a una redistribución espacial de la biomasa arbórea en el estrato).

Con este método, el cambio en las existencias de carbono y la incertidumbre asociada se estiman de la siguiente manera:

⁷⁸ Biology, 10(4), 375-383.

⁷⁹ Rohlf, F. J., & Sokal, R. R. (1981). Comparing numerical taxonomic studies. Systematic Biology, 30(4), 459-490.

⁸⁰ Con base en AR-TOOL14 Methodological tool: Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities Version 04.2

⁸¹ La citada herramienta se aplica a biomasa de árboles y arbustos, para la aplicación de esta metodología se ha adaptado a biomasa, refiriéndose a la biomasa total.

$$\Delta C_B = C_{B,t2} - C_{B,t1} \quad \text{Ecuación 33}$$

$$\mu_{\Delta C} = \frac{\sqrt{(\mu_1 \times C_{B,t1})^2 + (\mu_2 \times C_{B,t2})^2}}{|\Delta C_B|} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

ΔC_B = Cambio en las reservas de carbono de biomasa durante el periodo comprendido entre dos puntos en el tiempo t_1 y t_2 ; t CO_{2e}

$C_{B,t1}$ = Reserva de carbono de biomasa en el tiempo t_1 ; t CO_{2e}

C_{t2} = Reserva de carbono de árboles en el tiempo t_2 ; t CO_{2e}

$\mu_{\Delta C}$ = Incertidumbre en ΔC_B

μ_1, μ_2 = Incertidumbre en $C_{B,t1}$ y $C_{B,t2}$ respectivamente

15.2 Estimación directa del cambio mediante una nueva medición de las parcelas de muestreo

Este método es aplicable solamente para la estimación ex-post del cambio en las reservas de carbono, para el seguimiento de las actividades del proyecto. Con este método, las mismas parcelas de muestreo se miden en dos ocasiones sucesivas. El cambio en la biomasa, a nivel de parcela, se obtiene restando la biomasa de la parcela en la primera medición de la biomasa de la parcela en la segunda medición.

Este método es eficaz cuando existe una correlación significativa entre los valores de biomasa de las parcelas en las dos mediciones. Por ejemplo, cuando no ha habido cosecha o perturbación en un estrato y, por tanto, no se ha producido una redistribución espacial significativa de la biomasa en el estrato después de la primera estimación.

Con este método, el cambio en las existencias de carbono y la incertidumbre asociada se estiman de la siguiente manera:

$$\Delta C_B = \frac{44}{12} \times FC_B \times \Delta B_B \quad \text{Ecuación 35}$$

$$\Delta B_B = A \times \Delta b_B \quad \text{Ecuación 36}$$

$$\Delta b_B = \sum_{i=1}^M w_i \times \Delta b_{B,i} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\mu_{\Delta C} = \frac{t_{VAL} \times \sqrt{\sum_{i=1}^M w_i^2 \times \frac{s_{\Delta,i}^2}{n_i}}}{|\Delta b_B|} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

ΔC_B	=	Cambio en las reservas de carbono de árboles, entre dos mediciones sucesivas; t CO _{2e}
		Fracción de carbono de biomasa; t C (t d.m.) ⁻¹
CF_B	=	El valor por defecto es 0,47. Puede usarse otro valor si se provee información verificable y transparente, que justifica el uso de un valor diferente.
ΔB_B	=	Cambios en la biomasa, de acuerdo con la estimación de biomasa por cada estrato; t d.m.
A		Suma de las áreas de los estratos definidos para la estimación de la biomasa; ha
Δb_B	=	Media del cambio en la biomasa por hectárea, en las estimaciones por estrato; t d.m. ha ⁻¹
w_i		Relación entre el área del estrato i y la suma de las áreas de los estratos de estimación de la biomasa (es decir, $w_i = A_i / A$); adimensional
$\Delta b_{B,i}$	=	Media del cambio en las reservas de carbono por hectárea, en la biomasa en el estrato i; t d.m. ha ⁻¹
$\mu_{\Delta C}$	=	Incertidumbre en ΔC_{ARB}
t_{VAL}	=	Valor t de Student de dos lados para un nivel de confianza del 90% y grados de libertad iguales a n - M, donde n es el número total de parcelas de muestreo dentro de los estratos de estimación de la biomasa, y M es el número total de estratos de estimación de la biomasa
$s_{\Delta,i}^2$	=	Varianza del cambio medio de la biomasa por hectárea en el estrato i; (t d.m. ha ⁻¹) ²
n_i	=	Número de parcelas de muestreo, en el estrato i, en las cuales la biomasa fue remedida

El cambio medio en la biomasa por hectárea en un estrato y la varianza asociada se estiman de la siguiente manera:

$$\Delta b_{B,i} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} \Delta b_{B,p,i}}{n_i} \quad \text{Ecuación 39}$$

$$s_{\Delta,i}^2 = \frac{n_i \times \sum_{p=1}^{n_i} \Delta b_{B,p,i}^2 - \left(\sum_{p=1}^{n_i} \Delta b_{B,p,i} \right)^2}{n_i \times (n_i - 1)} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

$\Delta b_{B,i}$ = Media del cambio en la biomasa por hectárea, en el estrato i; t d.m. ha⁻¹

$\Delta b_{B,p,i}$ = Cambio en la biomasa por hectárea en la parcela p, en el estrato i; t d.m. ha⁻¹

$s_{\Delta,i}^2$ = Varianza del cambio medio de la biomasa por hectárea en el estrato i; (t d.m. ha⁻¹)²

n_i = Número de parcelas de muestreo, en el estrato i, en las cuales la biomasa fue remedida

Para los dos casos anteriores (secciones 15.1.1 y 15.1.2), si la estimación de $\mu_{\Delta C}$ es superior al 10%, se convierte en una estimación conservadora aplicando el descuento por incertidumbre según el procedimiento previsto en la [Tabla 14](#).

Tabla 14. Factores de descuento por incertidumbre

Incertidumbre	Descuento (% de μ)	Cómo se aplica
$\mu \leq 10\%$	0%	Media estimada = 60 ± 9 t d.m./ha i.e. $\mu = 9/60 \times 100 = 15\%$
$10 < \mu \leq 15$	25%	Descuento = $25\% \times 9 = 2,25$ t d.m./ha
$15 < \mu \leq 20$	50%	Descuento por incertidumbre:
$20 < \mu \leq 30$	75%	En línea base = $60 \pm 2,25 = 62,25$ t d.m./ha
$\mu > 30$	100%	Con proyecto = $60 - 2,25 = 57,75$ t d.m./ha

16 Cuantificación de la reducción de emisiones

16.1 Datos de actividad

Los datos de cambio en la superficie con cobertura vegetal natural (CSC), constituyen los datos de actividad para la estimación de los cambios en las reservas de carbono.

16.1.1 Cambios en cobertura vegetal natural (CSC)

Corresponde a los cambios en el uso de la tierra, en las áreas de humedal que pasan de cobertura vegetal natural a coberturas transformadas en el periodo de referencia. Los datos de actividad se evalúan en la región de referencia seleccionada.

Para definir los datos de actividad el titular del proyecto debe de realizar un análisis de cambio de uso de la tierra, en la región de referencia, considerando los siguientes lineamientos:

- (a) Obtener la información geográfica y cartográfica para el análisis de cambios de uso de la tierra. Debe diligenciarse la [Tabla 15](#), con la relación de la información usada.

Tabla 15. Insumos para el análisis de cambios de uso de la tierra

Insumo (Vector/sensores remotos)	Resolución espacial	Resolución espectral	Resolución temporal	Fecha de generación

- (b) Estratificar las coberturas naturales siguiendo los lineamientos de la sección 14.2.
- (c) Generar un análisis de detección de cambios o análisis multitemporal⁸² entre el periodo $t=-5$ y $t=0$, el cual permite identificar los cambios en el uso de la tierra que se hayan presentado en la región de referencia. El resultado de este es una matriz de cambios ([Tabla 16](#)).⁸³

⁸² Puede usarse información complementaria para disminuir el área sin información. Debe presentarse información detallada acerca de la metodología, la pertinencia del uso de la fuente de información seleccionada y la evaluación de la precisión de la clasificación.

⁸³ La metodología permite el uso de capas disponibles a nivel nacional que cumplan con los requerimientos de resolución espacial y temporal, como insumo para la elaboración de la matriz. El titular del proyecto debe realizar un análisis de precisión de los datos.

Tabla 16. Matriz de cambio de usos de la tierra

Estrato/Clase		t ₂						Área (ha)
t ₁		Clase ₁	Clase ₂	Clase ₃	Clase ₄	...	Clase _n	
	Clase ₁							
	Clase ₂							
	Clase ₃							
	Clase ₄							
	...							
	Clase _n							

Cambio proyectado en la superficie con cobertura vegetal natural (CSC), en el escenario de línea base, en el área del proyecto

Los cambios anuales en el área de proyecto, en el escenario de línea base se determinan utilizando la siguiente ecuación⁸⁴:

$$CSC_{LB} = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1} \right) * AP \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

CSC_{LB}	=	cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el escenario de línea base del proyecto, en la región de referencia (ha/año)
t_2	=	año final del periodo de referencia en el que se analizan los cambios
t_1	=	año de inicio del periodo de referencia en el que se analizan los cambios
A_2	=	superficie en cobertura vegetal natural en la región de referencia en t ₂ (ha)
A_1	=	superficie en cobertura vegetal natural en la región de referencia en t ₁ (ha)

⁸⁴ El resultado del análisis de los cambios en las coberturas vegetales naturales será el valor utilizado para representar la pérdida, que se espera en el escenario de línea base, de la biomasa en la cobertura natural.

AP = área de proyecto (ha)

16.2 Factores de emisión

Para convertir la cantidad de carbono almacenado en los diferentes depósitos, a la unidad métrica utilizada para comparar las emisiones de GEI, es decir CO₂e, se multiplica la cantidad de toneladas de carbono de las coberturas vegetales, por la constante (44/12).⁸⁵

El carbono total, por estrato se calcula con la siguiente ecuación:

$$CT_{Esi} = \left(\sum C_{BT} + C_{MOM} \right) \times \frac{44}{12} \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

CT_{Esi}	=	Corresponde al contenido de carbono, del estrato i; ton CO ₂
C_{BT}	=	Contenido de carbono en la biomasa total; ton
C_{MOM}	=	Contenido de carbono en la materia orgánica muerta; ton
$\frac{44}{12}$	=	Constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO ₂).

Para calcular las reservas de carbono en cada estrato, se multiplica el carbono total del estrato por hectárea ([Ecuación 43](#)).

$$C_{Esi} = \sum_{i=1}^n (CT_{Es} \times A_{Es}) \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

C_{Esi}	=	Contenido de Carbono en el estrato i; tCO _{2e} ha ⁻¹
CT_{Es}	=	Corresponde a la suma del contenido de carbono de los depósitos, del estrato; tCO _{2e} ha ⁻¹
A_{Esi}	=	Área del estrato i; ha
i	=	1, 2, 3 ...n, estrato; sin dimensiones

⁸⁵ IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Para los otros depósitos (COS, MOS, BIO), igualmente, se multiplica la biomasa por 44/12.

16.2.1 Emisiones en el escenario de línea base

Las emisiones en el escenario de línea base se estiman considerando los cambios en la dinámica del humedal y los cambios en los depósitos de carbono en los humedales naturales continentales, que ocurrirían en ausencia de las actividades de conservación y restauración.

En consecuencia, las emisiones en el escenario de línea base se calculan de acuerdo con la [Ecuación 44](#), a continuación:

$$E_{LB} = \sum_{t=1}^t E_{B, LB, t} + E_{LB, SUELO, t} + E_{LB, BIO, t} + E_{LB, fuego, t} + E_{LB, fert, t} \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

E_{LB}	= Emisiones en el escenario de línea base; tCO _{2e}
$E_{B, LB, t}$	= Emisiones por cambios en las reservas de carbono en la biomasa, en el escenario de línea base, en el tiempo t; tCO _{2e}
$E_{LB, SUELO, t}$	= Emisiones por cambios en las reservas de carbono en el suelo, en el escenario de línea base, en el tiempo t; tCO _{2e}
$E_{LB, fuego, t}$	= Emisiones por la combustión de biomasa leñosa, en el escenario de línea base, en el tiempo t; tCO _{2e}
$E_{LB, BIO, t}$	= Emisiones por cambios en la biodiversidad, en el área del humedal, en el tiempo t; tCO _{2e}
$E_{LB, fert, t}$	= Emisiones por el uso de fertilizantes, tCO _{2e}
t	= 1, 2, 3 ... t, año

16.2.1.1 Emisiones por cambios en las reservas de carbono en la biomasa ($B_{LB, t}$)

Los cambios en las reservas de carbono de la biomasa, en el escenario de línea base, deben ser calculadas como sigue:

$$\Delta CB_{LB, t} = \sum_{i=1}^t \Delta C_{BT, LB, t} + \Delta C_{BMOM, LB, t} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

$\Delta CB_{LB, t}$	= Cambios en las reservas de carbono de la biomasa, en el escenario de línea base, en el periodo de cuantificación; t CO ₂ -e
---------------------	--

$\Delta C_{BT_{LB,t}}$ = Cambios en las reservas de carbono en la biomasa total, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

$\Delta C_{BMOM_{LB,t}}$ = Cambios en las reservas de carbono en la materia orgánica muerta, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

t = 1, 2, 3 ... t, año

El cálculo de las reservas de carbono en los depósitos seleccionados en el año t, se realiza siguiendo el proceso descrito en la sección 14.

16.2.1.2 Emisiones por cambios en las reservas de carbono en el suelo ($\Delta C_{LB,SUELO,t}$)

Los cambios en las reservas de carbono en el suelo, en el escenario de línea base, deben ser calculadas como sigue:

$$\Delta C_{LB,SUELO,t} = \sum_{t=1}^t \Delta C_{COS,LB,t} + \Delta C_{MOS,LB,t} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

$\Delta C_{LB,SUELO,t}$ = Cambios en las reservas de carbono en el suelo, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

$\Delta C_{COS_{LB,t}}$ = Cambios en las reservas de carbono en el suelo y los sedimentos, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

$\Delta C_{MOS_{LB,t}}$ = Cambios en las reservas de carbono en la materia orgánica del suelo, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

t = 1, 2, 3 ... t, año

Para la estimación de las reservas en el carbono orgánico del suelo, en el escenario de línea base, pueden usarse valores por defecto del IPCC.

16.2.1.3 Emisiones por cambios en las reservas de carbono en la biodiversidad ($\Delta C_{BIO_{LB,t}}$)

Los cambios en las reservas de carbono en la biodiversidad, en el escenario de línea base, deben ser calculadas como sigue:

$$\Delta C_{BIO, LB, t} = \sum_{t=1}^t \Delta C_{LB, fit, t} + \Delta C_{LB, fic, t} + \Delta C_{LB, zoo, t} + \Delta C_{LB, mac, t} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

$\Delta C_{LB, BIO, t}$ = Cambios en las reservas de carbono la biodiversidad, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

$\Delta C_{LB, fit, t}$ = Cambios en las reservas de carbono en el fitoplacton, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

$\Delta C_{LB, fic, t}$ = Cambios en las reservas de carbono en el ficoperifiton, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

$\Delta C_{LB, zoo, t}$ = Cambios en las reservas de carbono en el zooplancton, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

$\Delta C_{LB, mac, t}$ = Cambios en las reservas de carbono en macroinvertebrados acuáticos, en el escenario de línea base, en los límites del proyecto, en el periodo de cuantificación; t CO₂-e

t = 1, 2, 3 ... t, año

El titular de proyecto puede incluir solo algunos de los componentes de la biodiversidad (fitoplacton, ficoperifiton, zooplancton o macroinvertebrados acuáticos).

16.2.1.4 Emisiones debidos a la presencia de fuego, CO₂ y otros GEI ($E_{LB, fuego, t}$)

Por combustión de biomasa leñosa

Si el titular del proyecto identifica la presencia de incendios que afecte el área del proyecto, deberá cuantificar las emisiones de CH₄ y N₂O causadas por la combustión de biomasa y suelos orgánicos, teniendo en cuenta los lineamientos presentados en las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI.

De acuerdo con el IPCC (2019), el fuego se trata como una perturbación que afecta no sólo a la biomasa (en particular, la aérea), sino también a la materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta); de igual forma para los suelos orgánicos que han sido drenados.

La quema de biomasa es la mayor fuente natural (o seminatural) de producción de gas distinto del CO₂. La cantidad liberada se puede estimar utilizando factores de emisión basados en la cantidad de carbono liberado⁸⁶.

Siguiendo los lineamientos del IPCC, a continuación se describe el proceso para estimar las emisiones de CO₂ y de Otros GEI.

$$E_{fuego(LB,BT)} = A_{LB} \times M_{BT} \times C_{f(BT)} \times G_{ef(BT)} \times 10^{-387} \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

$E_{fuego(BT, LB)}$ = Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del incendio de biomasa total, en el escenario de línea base; toneladas de cada GEI (CH₄, N₂O).

A_{LB} = Área quemada en el escenario de línea base; ha

M_{BT} = Masa de combustible disponible para combustión; toneladas ha⁻¹. Esto incluye biomasa, hojarasca y madera muerta⁸⁸

C_f = Factor de combustión; sin dimensiones⁸⁹

G_{ef} = Factor de emisión; g kg⁻¹ de materia seca quemada⁹⁰

Emisiones CO₂ y otros GEI por incendios en suelos orgánicos drenados

Las emisiones de CO₂ y otros GEI procedentes de la quema de suelos orgánicos drenados pueden medirse directamente o estimarse utilizando datos sobre la superficie quemada junto con los valores por defecto para la masa de combustible consumida y los factores de emisión proporcionados por el IPCC.⁹¹

$$E_{fuego(COS, LB)} = A_{LB} \times M_{B(COS)} \times C_{f(COS)} \times G_{ef(COS)} \times 10^{-392} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

$E_{fuego(COS)}$ = Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del incendio de suelos orgánicos, en el escenario de línea base; toneladas de cada GEI (CH₄, N₂O).

⁸⁶ Pearson, T., Walker, S. & Brown, S. (2005). Sourcebook for Land use, Land-use change and forestry projects. Winrock International. 11-33 pp.

⁸⁷ El valor 10⁻³ convierte L_{fire} en toneladas.

⁸⁸ De acuerdo con los lineamientos del IPCC, para esta metodología se asume que los depósitos de hojarasca y madera muerta son cero, excepto cuando haya un cambio de uso de la tierra o se tengan datos confiables y verificables para el sitio. Para conocer la masa de combustible disponible ver Módulos (Biomasa y MOC). Para la combustión de biomasa no leñosa en pastizales y tierras de cultivo, no es necesario estimar ni informar las emisiones de CO₂, porque se asume que las absorciones anuales de CO₂ (a través del crecimiento) y las emisiones (ya sea por descomposición o incendio) por la biomasa están en equilibrio.

⁸⁹ Valores predeterminados en la Tabla 2.6; definidos por el IPCC, 2019.

⁹⁰ Valores predeterminados en la Tabla 2.5; definidos por el IPCC, 2019.

⁹¹ IPCC, 2013.

⁹² El valor 10⁻³ convierte L_{fire} en toneladas.

A_{LB}	=	Área quemada en el escenario de línea base; ha
$M_B(COS)$	=	Masa de combustible (suelo orgánico) disponible para combustión, toneladas ha ⁻¹⁹³
$C_f(COS)$	=	factor de combustión del suelo orgánico, adimensional ⁹⁴
$G_{ef}(COS)$	=	factor de emisión del suelo orgánico, g kg ⁻¹ de materia seca quemada ⁹⁵

16.2.1.5 Emisiones de N₂O por el uso de fertilizantes ($E_{LB,fert,t}$)⁹⁶

$$E_{LB,fert,t} = \sum_{t=1}^t (F_{SN,t} + F_{ON,t}) \times FE \times \frac{44}{28} \times PCG_{N2O} \quad \text{Ecuación 50}$$

$$F_{SN,t} = N_{SN-fert,t} \times (1 - Frac_{GASF}) \quad \text{Ecuación 51}$$

$$F_{ON,t} = N_{ON-fert,t} \times (1 - Frac_{GASM}) \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

$E_{LB,fert,t}$	=	Emisiones directas por el resultado de la aplicación de fertilizantes; t, toneladas CO _{2e}
$F_{SN,t}$	=	Cantidad anual de fertilizante nitrogenado aplicado, toneladas de N, ajustado por volatilización como NH ₃ y NO _x , toneladas de N
$F_{ON,t}$	=	Cantidad anual de fertilizante orgánico aplicado, ajustado por volatilización como NH ₃ y NO _x , toneladas N
$N_{SN-fert,t}$	=	Cantidad de fertilizante sintético aplicado en el tiempo t; toneladas de N
$N_{ON-fert,t}$	=	Cantidad de fertilizante orgánico aplicado en el tiempo t; toneladas de N
FE_1	=	Factor de emisión para las emisiones de insumos nitrogenados (toneladas de N/insumo _i)
$Frac_{GASF}$	=	Fracción que se volatiliza con NH ₃ y NO _x para fertilizantes sintéticos, sin dimensiones
$Frac_{GASM}$	=	Fracción que se volatiliza con NH ₃ y NO _x para fertilizantes orgánicos, sin dimensiones

⁹³ De acuerdo con los lineamientos del IPCC, para esta metodología se asume que los depósitos de hojarasca y madera muerta son cero, excepto cuando haya un cambio de uso de la tierra o se tengan datos confiables y verificables para el sitio. Para conocer la masa de combustible disponible ver Módulos (Biomasa y MOC). Para la combustión de biomasa no leñosa en pastizales y tierras de cultivo, no es necesario estimar ni informar las emisiones de CO₂, porque se supone que las absorciones anuales de CO₂ (a través del crecimiento) y las emisiones (ya sea por descomposición o incendio) por la biomasa están en equilibrio.

⁹⁴ Valores predeterminados en la Tabla 2.6; definidos por el IPCC, 2019.

⁹⁵ Valores predeterminados en la Tabla 2.5; definidos por el IPCC, 2019.

⁹⁶ Ecuación 3.2.18, IPCC GPG LULUCF

PCG_{N_2O} Potencial de calentamiento global para N_2O (310 para el primer periodo de cuantificación)

De acuerdo con IPCC (2000), el factor de emisión (EF_i) por defecto es 1,25% del Nitrógeno aplicado, y este valor debe usarse cuando no hay factor nacional. Los valores por defecto para las fracciones de fertilizante sintético y orgánico, que son emitidos como NO_x y NH_3 son 0,1 y 0,2 respectivamente (Guías IPCC, 1996). Los titulares de proyectos pueden desarrollar factores de emisión específicos que sean más apropiados para su proyecto.

La Guía de Buenas Prácticas brindan las orientaciones sobre cómo derivar factores de emisión específicos (Sección 4.1, IPCC 2000).

16.2.1.6 Emisiones en el área de fugas ($CSC_{AF, LB}$)

Los cambios históricos anuales en el área de fugas, en el escenario de línea base se cuantifican usando la siguiente ecuación:

$$CSC_{AF, LB} = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{AF_2}{AF_1} \right) \times AF \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

$CSC_{AF, LB}$ = cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el escenario de línea base del área de fugas, en la región de referencia (ha/año)

t_2 = año final del periodo de referencia en el que se analizan los cambios

t_1 = año de inicio del periodo de referencia en el que se analizan los cambios

AF_2 = superficie en cobertura vegetal natural en la región de referencia del área de fugas en t_2 (ha)

AF_1 = superficie en cobertura vegetal natural en la región de referencia del área de fugas en t_1 (ha)

AF = Área de fugas (ha)

Las fugas, en el escenario de línea base se calculan con la [Ecuación 54](#).

$$E_{AF, LB} = \sum_{t=1}^t CSC_{AF, LB, t} \times (BT_{AF, LB, t} + MOM_{AF, LB, t}) + SOC_{AF, LB, t} + MOS_{AF, LB, t} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde:

$E_{AF, LB}$	=	Emisiones proyectadas el área de fugas en el escenario de línea base; tCO _{2e}
CSC_{LB}	=	Cambios proyectados en la superficie con cobertura vegetal natural en el área de fugas, línea base, (ha/año)
$BT_{AF, LB, t}$	=	Cambios en las reservas de carbono en la biomasa en el escenario de línea base, en el tiempo t; tCO _{2e}
$MOM_{AF, LB, t}$	=	Emisiones en las reservas de materia orgánica muerta en el escenario de línea base, en el tiempo t; t CO _{2e}
$SOC_{AF, LB, t}$	=	Emisiones en las reservas de carbono en el suelo en el escenario de línea base, en el tiempo t; t CO _{2e}
$MOS_{AF, LB, t}$	=	Emisiones en las reservas de materia orgánica en el suelo, en el escenario de línea base, en el tiempo t; t CO _{2e}
t	=	1, 2, 3 ... t, año

16.2.2 Estimación de la reducción de emisiones en el escenario con proyecto (RE_P)

La reducción de emisiones por evitar cambios en el uso de la tierra, en el escenario con proyecto, se estima de acuerdo con la ecuación:

$$RE_P = (t_2 - t_1) * (E_{LB} - E_P - E_{AF}) \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

RE_P	=	Reducción de emisiones del proyecto; tCO _{2e}
E_{LB}	=	Emisiones en el escenario de línea base; tCO _{2e} año ⁻¹
E_P	=	Emisiones en el escenario con proyecto; tCO _{2e} año ⁻¹
E_{AF}	=	Emisiones en el área de fugas; tCO _{2e} año ⁻¹
t_2	=	Año final del periodo en el que se analizan los cambios
t_1	=	Año inicial del periodo en el que se analizan los cambios

16.2.2.1 Emisiones en el escenario de línea base (E_{LB})

Emisiones que se generarían en el escenario de línea base debido a los cambios en el uso del suelo en las áreas de humedal natural continental. Las emisiones de GEI se estiman considerando las áreas en el escenario sin proyecto y el contenido de carbono que se emitiría a la atmósfera si dichas áreas son transformadas ([Ecuación 56](#)).

$$E_{LB,i,t} = \sum_{t=1}^t CSC_{LB,t} \times (BT_{LB,t} + BMOM_{LB,t}) + (COS_{LB,t} + MOS_{LB,t}) \times A_p + (BIO_{LB,t}) \times A_{ea} + (E_{fuego, LB,t}) \times A_{fuego, LB,t} + (E_{LB, fert,t})$$

Ecuación 56

Donde:

E_{LB}	=	Emisiones del proyecto en el escenario de línea base; tCO ₂ e ha ⁻¹
$CSC_{LB,t}$	=	Cambio proyectado en la superficie con cobertura vegetal natural en el escenario de línea base del proyecto, en la región de referencia; ha año ⁻¹
$BT_{LB,t}$	=	Contenido de carbono en la biomasa total en el escenario de línea base; tCO ₂ e ha ⁻¹
$BMOM_{LB,t}$	=	Contenido carbono en la materia orgánica muerta en el escenario de línea base, en el estrato i; tCO ₂ e ha ⁻¹
$COS_{LB,t}$	=	Contenido carbono en el suelo en el escenario de línea base; t CO ₂ e ha ⁻¹
$BMOS_{LB,t}$	=	Contenido de carbono en la materia orgánica del suelo, en el escenario de línea base; tCO ₂ e ha ⁻¹
$E_{fuego, LB,t}$	=	Emisiones de GEI por combustión de carbono en el escenario de línea base; tCO ₂ e ha ⁻¹
$E_{LB, fert,t}$	=	Emisiones por uso de fertilizantes nitrogenados; tCO ₂ e ha ⁻¹
A_p	=	Área de proyecto; ha
A_{ea}	=	Área del espejo de agua; ha
$A_{fuego, LB,t}$	=	Área con presencia de fuegos, en el escenario de línea base; ha
t	=	1, 2, 3 ... t, año

16.2.2.2 Emisiones en el escenario con proyecto (E_p)

Área del proyecto

Las emisiones en el escenario con proyecto se calculan de acuerdo con la [Ecuación 57](#), a continuación:

$$E_{p,t} = \sum_{t=1}^t CSC_{p,t} \times (BT_{p,t} + BMOM_{p,t}) + (COS_{p,t} + MOS_{p,t}) \times A_p + (BIO_{p,t}) \times A_{ea} + (E_{fuego, p,t}) \times A_{fuego, p,t} + E_{p, fert,t}$$

Ecuación 57

Donde:

$E_{p,i,t}$	=	Emisiones en el escenario de proyecto; tCO _{2e}
CSC_P	=	cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el escenario con proyecto, (ha/año)
$BT_{p,t}$	=	Cambios en las reservas de carbono en la biomasa total en el escenario de proyecto, en el estrato i, en el tiempo t; tCO _{2e}
$COS_{p,t}$	=	Emisiones en las reservas de carbono en el suelo en el escenario con proyecto, en el tiempo t; t CO _{2e}
$MOS_{p,t}$	=	Emisiones en las reservas de carbono en la materia orgánica del suelo en el escenario con proyecto, en el tiempo t; t CO _{2e}
$BMOM_{p,t}$	=	Emisiones en las reservas de materia orgánica muerta en el escenario con proyecto, en el tiempo t; t CO _{2e}
$BIO_{p,t}$	=	Emisiones en las reservas de carbono en la biodiversidad, en el escenario con proyecto, en el tiempo t; t CO _{2e}
$E_{fuego,p,t}$	=	Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del incendio, en escenario con proyecto, en el tiempo t; t CO _{2e}
$E_{p,fert,t}$	=	Emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la aplicación de fertilizantes sintéticos nitrogenados; en el tiempo t; tCO _{2e}
A_p	=	Área de proyecto; ha
A_{ea}	=	Área del espejo de agua; ha
$A_{fuego,p,t}$	=	Área con presencia de fuegos, en el escenario con proyecto base; ha
t	=	1, 2, 3 ... t, año

Cambios proyectados en la superficie con cobertura vegetal natural (CSC) en el escenario con proyecto, en el área del proyecto

Las emisiones de GEI en el área de proyecto, en el escenario con proyecto se cuantifican usando la siguiente ecuación:

$$CSC_P = CSC_{LB} * (1 - \%DC_P)$$

Ecuación 58

Donde:

CSC_P	=	cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el escenario con proyecto, (ha/año)
CSC_{LB}	=	cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el escenario de línea base (ha/año)

$\%DC_P$ = porcentaje de la proyección de la disminución de los cambios de cobertura debido a la implementación de las actividades del proyecto

16.2.2.3 Área de fugas

$$E_{AF} = \sum_{t=1}^t CSC_{AF_P} \times (BT_{AF,t} + BMOM_{AF,t}) \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde:

E_{AF} = Emisiones el área de fugas en el escenario con proyecto; tCO_{2e}
 CSC_{AF_P} = cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el área de fugas, escenario con proyecto, (ha/año)
 $BT_{AF,t}$ = Cambios en las reservas de carbono en la biomasa total en el escenario de proyecto, en el estrato i, en el tiempo t; tCO_{2e}
 $BMOM_{AF,t}$ = Emisiones en las reservas de materia orgánica muerta en el escenario de línea base, en el tiempo t; t CO_{2e}
 t = 1, 2, 3 ... t, año

Cambios proyectados en la superficie con cobertura vegetal natural (CSC) en el escenario con proyecto, en el área de fugas

Las emisiones de GEI en el área de fugas, en el escenario con proyecto se cuantifican usando la siguiente ecuación:

$$CSC_{AF-P} = CSC_{AF_{LB}} * (1 + \%ICC_{AF}) \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

CSC_{AF-P} = cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el área de fugas, escenario con proyecto, (ha/año)
 $CSC_{AF_{LB}}$ = cambio en la superficie con cobertura vegetal natural en el escenario de línea base (ha/año)
 $\%ICC_{AF}$ = porcentaje del incremento de los cambios de cobertura debido a la implementación de las actividades del proyecto.

16.2.2.4 Cuantificación de la reducción de emisiones generada por la implementación de las actividades de conservación

Las reducciones del proyecto de GEI deben ser calculadas como sigue:

$$\Delta C_{p,t} = \Delta C_{p,LB,t} - \Delta C_{p,ACTUAL,t} - Fuga_{p,t} \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde:

- $\Delta C_{p,t}$ = Reducciones netas de GEI por las actividades de conservación, en el año t ; t CO_{2-e}
- $\Delta C_{ACTUAL,t}$ = Reducciones de GEI las actividades de conservación, en el año t ; t CO_{2-e}
- $\Delta C_{LB,t}$ = Emisiones de GEI en la línea base, en el año t ; t CO_{2-e}
- $Fuga_{p,t}$ = Emisiones de GEI debidas a las fugas las actividades de conservación, en el año t ; t CO_{2-e}

16.2.2.5 Estimación de los resultados de reducción y remoción de las actividades del proyecto

Los resultados del proyecto de GEI deben ser calculadas como sigue:

$$\Delta C_{PROYECTO,t} = \Delta C_{R,t} + \Delta C_{CON,t} \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

- $\Delta C_{PROYECTO,t}$ = Reducciones netas de GEI por las actividades de conservación, en el año t ; t CO_{2-e}
- $\Delta C_{R,t}$ = Remociones netas de GEI por los reservorios, debido a las actividades de restauración, año t ; tCO_{2-e}
- $\Delta C_{CON,t}$ = Reducciones netas de GEI por las actividades de conservación, en el año t ; t CO_{2-e}
- t = 1, 2, 3 ... t, año

17 Plan de monitoreo

Los titulares del proyecto deben presentar un plan de monitoreo conforme a lo establecido por el estándar y adicionalmente deben describir los procedimientos para realizar seguimiento a las actividades del proyecto y a la reducción de emisiones de GEI, en el ámbito del proyecto.

El titular del Proyecto de GEI debe demostrar que las reducciones de emisiones o remociones son cuantificadas, monitoreadas, reportadas y verificadas, mediante la aplicación de la Herramienta BCR “Monitoring, reporting and verification (MRV)”



Historial del documento

Tipo de documento

Documento metodológico Proyectos de conservación y restauración en humedales naturales continentales.

Versión	Fecha	Naturaleza del documento
Consulta interna	2 de diciembre de 2022	Versión inicial Documento sometido a consulta interna
Documento para consulta pública	26 de febrero de 2024	Documento sometido a consulta pública
Versión 1.0	13 de junio de 2024	Versión ajustada después de consulta pública