

Guía de campo
para la estimación de factores
de emisión y captura de gases
de efecto invernadero (GEI) en
agroecosistemas de marañón

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria



Biocarbono
Paisajes sostenibles bajos en carbono



EMBAJADA de
ESTADOS UNIDOS
BOGOTÁ



Entidades Socias



Agricultura



Ambiente



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Asesora



Departamento Nacional
de Planeación - **DNP**

Apoyan



Agencia Presidencial de
Cooperación Internacional
de Colombia - **APC Colombia**



NORECCO

Nodo Regional
de Cambio Climático
Orinoquia

El proyecto hace parte de la iniciativa Paisajes Forestales Sostenibles (ISF) del Fondo Biocarbono



BioCarbon Fund
Initiative for Sustainable Forest Landscapes

Guía de campo para la estimación de factores de emisión y captura de gases de efecto invernadero (GEI) en agroecosistemas de marañón



Guía de campo para la estimación de factores de emisión y captura de gases de efecto invernadero (GEI) en agroecosistemas de marañón. / Carmen Alicia Parrado Moreno [y otros cuatro] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2024.

64 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye ilustraciones, gráficos y referencias.

ISBN e-Book: 978-958-740-738-9

1. *Anacardium occidentale* 2. Agroecosistemas 3. Efecto invernadero 4. Biomasa 5. Carbono orgánico del suelo 6. Análisis del suelo. I. Parrado Moreno, Carmen Alicia II. Peña Quiñones, Andrés Javier III. Mateus Cagua, Diana Mayerly IV. Bernal Riobo, Jaime Humberto.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Sede Central, Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá,
Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047,
Colombia.

Centro de Investigación La Libertad, Kilómetro 17
vía Puerto López-Meta, Meta. Código postal 502007,
Colombia.

Esta publicación hace parte de los trabajos de AGROSAVIA dentro de la iniciativa Paisajes Forestales Sostenibles (isf) del Fondo Biocarbono, Consultoría 055-2022 “Crear condiciones habilitantes para el desarrollo de agroecosistemas sostenibles bajos en carbono para el cultivo del marañón bajo esquemas de producción - conservación en la altillanura colombiana”

Colección: Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Manual

Fecha de recepción: 18 de abril de 2024

Fecha de evaluación: 27 de mayo de 2024

Fecha de aceptación: 6 de junio de 2024

Primera edición: julio de 2024

Autores

Carmen Alicia Parrado Moreno
Diana Mayerly Mateus Cagua
Sandra Xiomara Pulido Castro
Andrés Javier Peña Quinones
Jaime Humberto Bernal Riobo

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Verónica Barreto Riveros

Diseño y diagramación: Kilka Diseño Gráfico

Citación sugerida: Parrado, C. A., Mateus-Cagua, D. M., Pulido Castro, S. X., Peña Quiñones, A. J. & Bernal-Riobo, J. H. (2024). *Guía de campo para la estimación de factores de emisión y captura de gases de efecto invernadero (GEI) en agroecosistemas de marañón*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7407389>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Presidente de la República de Colombia

Gustavo Francisco Petro Urrego

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)

Martha Viviana Carvajalino

Ministra de Agricultura y Desarrollo Rural

Polivio Leandro Rosales Cadena

Viceministro de Desarrollo Rural

Lilia María Rodríguez Albarracín

Viceministra de Asuntos Agropecuarios

Santos Alonso Beltrán Beltrán

Director de Innovación, Desarrollo Tecnológico y
Protección Sanitaria

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Susana Muhamad

Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Mauricio Cabrera Leal

Viceministra de Políticas y Normalización Ambiental

Lilia Tatiana Roa Avendaño

Viceministra de Ordenamiento Ambiental del
Territorio.

María Saralux Valbuena López

Directora de Cambio Climático y Gestión del Riesgo

Proyecto Biocarbono Orinoquia

Iván Darío Gómez Guzmán

Coordinador Nacional del Proyecto

Fabián Mauricio Gerena Reina

Líder del componente Planeación Integrada del
Uso del Suelo y Gobernanza para el Control a la
Deforestación

Daniel Alberto Aguilar Corrales

Fernando Leyva (2023)

Líder componente Uso y Manejo Sostenible del Suelo

Johana Talina Lugo Rosero

Líder del componente Definición del Programa de
Reducción de Emisiones (PRE) y de Monitoreo, Reporte
y Verificación (MRV)

Juan David Turriago

Redactor ERP

Javier Rodríguez Dueñas

Coordinador Regional

Lilia Patricia Arias Duarte

Gestor Sénior Seguimiento y Monitoreo

Pedro Miguel Salazar

Susana Sandoval González

Sabrina Andrea Acosta Angarita

Mónica Monsalvo Torres

Especialistas

Edwin Fernando Forero Palomino

Consultor y supervisor del contrato

Natalia Andrea Niño Pinilla

Estiven Rojas Roncancio

Profesionales SIG

Gandy Alarcón Montero

Asesor jurídico

Fabián Peña

Juliana Fonseca

Equipo de Comunicaciones

Contenido

Introducción	6
Presentación	8
Dinámica de carbono en agroecosistemas de marañón	10
Capítulo I. Cuantificación de la biomasa aérea y subterránea	12
Biomasa aérea arbórea - metodología	13
Biomasa subterránea - metodología	17
Biomasa de la vegetación rasante - metodología	22
Capítulo II. Biomasa del material muerto	24
Biomasa en la hojarasca	25
Determinación de necromasa (residuos de madera muerta)	26
Capítulo III. Determinación del carbono orgánico en el suelo (COS)	28

Capítulo IV.	
Cálculo del <i>stock</i> de carbono en la biomasa y el suelo	32
<i>Stock</i> de carbono en la biomasa aérea (SBa) y subterránea (SBs)	33
Cambios en el <i>stock</i> de carbono en la biomasa aérea (SBa) y subterránea (SBs)	34
Cambios en el <i>stock</i> de carbono en la biomasa de la vegetación rasante (BVR)	36
Cambios en el <i>stock</i> de carbono orgánico del suelo (COS)	38
Recursos empleados en los métodos directos de muestreo	43
Capítulo V.	
Factores de emisión de GEI por datos de actividad y cambio de uso del suelo	46
Estimación de emisiones por prácticas de gestión (datos de actividad)	47
Capítulo VI.	
Balance/dinámica de carbono en el sistema productivo de marañón	59
Relación entre captura, reducción y emisiones de GEI	60
Agradecimientos	61
Referencias	62
Autores	63

Introducción

En la actualidad, la gestión de los sistemas agrícolas presenta grandes desafíos relacionados con el mantenimiento de la productividad, que se suman a la implementación de acciones para la adaptación, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el incremento de la captura de carbono arriba y abajo del suelo, así como a tareas relacionadas con la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales. Por eso, las prácticas de gestión en los agroecosistemas en la Orinoquia deben encaminarse a la integración de múltiples acciones que permitan mantener o incrementar los servicios ecosistémicos (SE) de provisión, pero sobre la base de los SE de regulación y mantenimiento, además del mantenimiento de las funciones que provean bienestar a los medios de vida rurales a través de SE culturales. En este enfoque, la integración de productores, transformadores y comercializadores con extensionistas rurales, investigadores y académicos para la generación de conocimiento en torno a la mitigación de los aportes al cambio climático, los mecanismos de adaptación y las estrategias de planificación para la producción-conservación determinarán las acciones de gestión integral para la sostenibilidad de la cadena de valor del marañón.

El cultivo de marañón se considera un sistema estratégico para el desarrollo agrícola de la altillanura en la Orinoquia colombiana. Sus productos tienen un gran valor en el mercado internacional de alimentos funcionales. De acuerdo con Zhang et al. (2024), el marañón es uno de los frutos secos más apetecidos en el mundo debido a sus abundantes nutrientes, que incluyen ácidos grasos insaturados, microelementos, polisacarosa y aminoácidos. Por lo tanto, la industria de los agroecosistemas de marañón tiene grandes beneficios económicos, sociales y médicos. Además, Ashiagbor et al. (2022) determinaron que los agroecosistemas de marañón no solo tienen gran potencial para mitigar el cambio climático en paisajes de transición bosque-sabana de áreas tropicales, sino que además son una opción viable para restaurar zonas degradadas. Adicionalmente, estos cultivos se caracterizan por sus potenciales bajas emisiones de GEI e incrementos en la acumulación en las reservas de carbono, que los hace interesantes en los mecanismos voluntarios y regulatorios de mercados de carbono. No obstante, la determinación de todas estas potencialidades debe estimarse y determinarse en la región.

Los mecanismos de estimación y medición parten de análisis sistemáticos

de estudios de crecimiento y fijación de carbono en la biomasa área y subterránea de las plantaciones de marañón y las especies acompañantes, así como de la evaluación del secuestro y almacenamiento de carbono en el perfil del suelo de este tipo de uso de la tierra. Para avanzar en mecanismos de competitividad en una cadena de valor de marañón, es necesario determinar los principios de evaluación con criterios de sostenibilidad. La presente guía de campo tiene

como objetivo brindar los lineamientos para la cuantificación de biomasa área y subterránea, el almacenamiento del carbono en suelos de agroecosistemas de marañón y su potencial como reservorio de carbono para las estrategias de mitigación del cambio climático. Con base en estas actividades, es posible determinar de manera más certera y equitativa el acceso a diferentes incentivos financieros y no financieros por parte de los productores en el territorio.

Presentación

El proyecto Biocarbono Orinoquia tiene como objetivo mejorar las condiciones para la planificación y gestión de paisajes sostenibles con bajas emisiones de carbono en esta región, con la finalidad de diseñar el Programa de Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero (PRE) para Colombia. La implementación de esta iniciativa contribuye al trabajo que el país está realizando para alcanzar una agricultura climáticamente inteligente, a la adaptación y mitigación del cambio climático, y a la meta de Colombia de reducir en un 51 % sus emisiones de gases de efecto invernadero para el 2030.

Este proyecto se lleva a cabo en los departamentos de Arauca, Casanare, Meta y Vichada, como parte de la iniciativa global Paisajes Forestales Sostenibles (ISFL), a través del Fondo Biocarbono del Banco Mundial, y es financiado por Reino Unido, Alemania, Estados Unidos y Noruega. El liderazgo en la ejecución del Proyecto Biocarbono Orinoquia está

a cargo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La estructura del proyecto tiene tres componentes que abordan los siguientes temas: 1) Planificación del uso del suelo y gobernanza para controlar la deforestación; 2) Uso y manejo sostenible del suelo, y 3) Preparación del Programa de Reducción de Emisiones y Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV).

La presente publicación tiene como objeto presentar una guía de campo para la estimación de factores de emisión y captura de gases de efecto invernadero (GEI) en agroecosistemas de marañón como herramienta para los actores de esta cadena de valor que contribuya a la planificación y gestión de paisajes sostenibles mediante la gestión del conocimiento.

Agradecemos a todos los colaboradores y aliados que hicieron posible su realización.



Foto: Xiomara Pulido

Dinámica de carbono en agroecosistemas de marañón

La cantidad de carbono (C) fijado y almacenado en tierras de cultivos permanentes, así como la emitida o absorbida, dependen del tipo de cultivo, de las prácticas de gestión y de las variables de suelo y clima. De acuerdo con el IPCC (2006, 2019), los cultivos de plantas perennes pueden implicar depósitos significativos de carbono en la biomasa de larga vida, donde la cantidad depende del tipo de especie o cultivar, de la densidad de siembra, de las tasas de crecimiento y de las prácticas de cosecha y de poda. Además, los cultivos perennes pueden incluir vegetación arbórea y herbácea que representan un

componente de entrada, recirculación y almacenamiento de carbono. El flujo general del ciclo de carbono en agroecosistemas está compuesto por cinco depósitos y sus flujos, incluidas las entradas y salidas del sistema, así como las transferencias entre los depósitos (IPCC, 2006, 2019), mediante la dinámica global en el sistema (figura 1). Según los lineamientos, los cambios en las existencias de un componente se estiman sumando los cambios en todos los depósitos. Además, se debe tener presente la desagregación en cambios de existencias y emisiones de C en suelos minerales y suelos orgánicos.

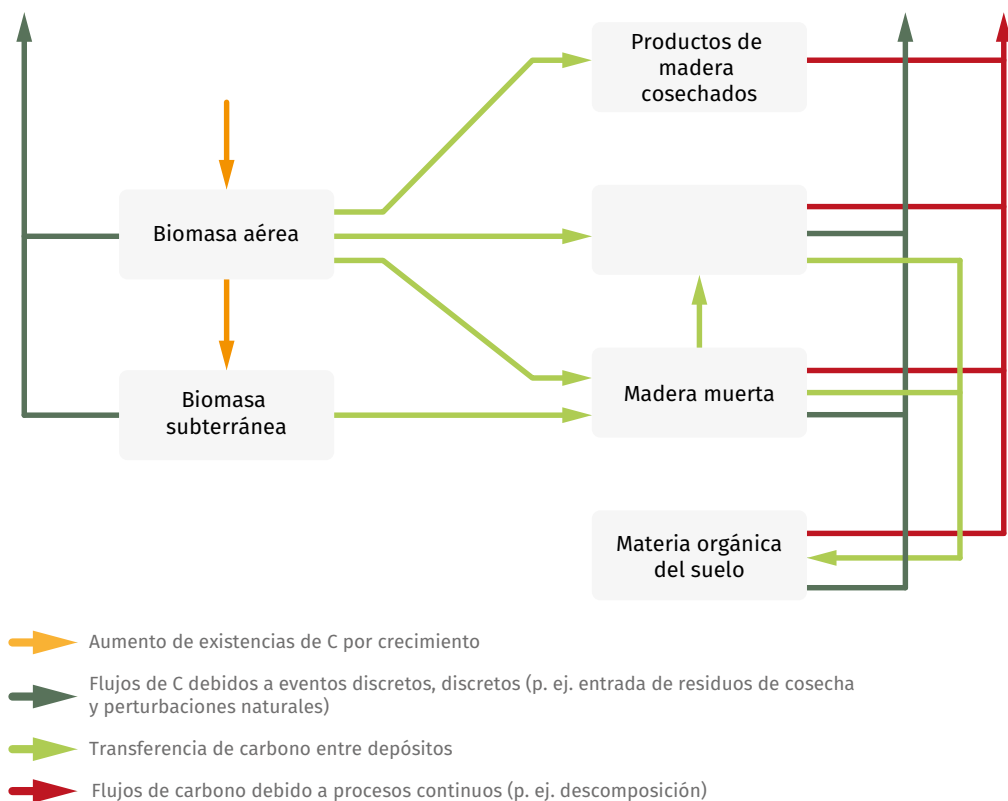


Figura 1.
Ciclo general de carbono con depósitos y flujos en ecosistemas terrestres AFOLU*.
Fuente: IPCC (2019)

* Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.



Capítulo I. Cuantificación de la biomasa aérea y subterránea

Foto: Hugo Gil

En los agroecosistemas de marañón, la producción de la biomasa viva aérea y subterránea, así como la biomasa muerta (madera y hojarasca) y el carbono orgánico del suelo, constituyen los principales flujos, depósitos y reservas de carbono que deben ser cuantificados y llevados al balance global de carbono en el agroecosistema en el periodo de evaluación o inventario. A continuación,

se presentan las consideraciones y los detalles metodológicos con el propósito de mejorar la certidumbre respecto a la fijación y captura (secuestro y almacenamiento) de carbono dentro del predio o plantación de marañón, y de esta manera apoyar la construcción de herramientas y conocimiento guía para eventuales proyectos de pago por resultados en mercados de carbono.

Biomasa aérea arbórea - metodología

Registro de variables dasométricas/biométricas

El registro de variables dasométricas es un método de medición indirecto en campo, que se emplea para la estimación del desarrollo y la acumulación de biomasa. Este método es una alternativa a los muestreos directos, que suelen ser destructivos (apeos), debido a que resultan costosos y demandan alta cantidad de mano de obra. La aplicación de este método se basa en mediciones de variables de plantas en pie (altura total, diámetro a la altura del pecho [DAP] de 1,30 m desde el suelo y diámetro de la copa), cuyos datos son usados en ecuaciones alométricas preexistentes para estimar la cantidad de biomasa acumulada, validando previamente las condiciones en las que se generaron.

Tanto en mediciones directas como indirectas, se debe tener en cuenta el criterio de grupo etario para el registro de la información. Se recomienda considerar las categorías de 0 a 10 años, 10 a 20 años y mayores a 20 años, debido

al carácter perenne de este cultivo. Esta agrupación permite obtener un estimado de la acumulación de biomasa aérea y subterránea en las fases determinantes de crecimiento. En ambos casos, se deben seleccionar árboles con características representativas del grupo etario y se deben incluir al menos tres plantas por grupo (en mediciones indirectas esta cifra puede incrementarse). Si en la finca existen lotes del mismo grupo etario con manejo diferencial, estos deberían muestrearse de manera separada.

A continuación, se presenta el enfoque metodológico para llevar a cabo el registro de variables para mediciones indirectas.

1. **Altura del árbol:** se mide con un clinómetro, hipsómetro o regla graduada telescópica (figura 2). La medición se hace desde la base de la planta hasta su parte más alta. En caso de usar una regla, se recomienda que una segunda persona se aleje a la distancia equivalente a la altura del



Figura 2.

Métodos de medición. a. Medición de altura de planta con regla graduada telescópica: b. Medición de DAP. c. Medición con cinta métrica.

Fotos: Hernán Camacho y Diana Mateus

árbol y señale el punto más alto de la copa; esta acción determina una lectura correcta.

2. Diámetro a la altura del pecho (DAP): los árboles de marañón pueden tener un tronco único o ramificado (figura 3). En caso de estar dividido, se debe registrar el DAP correspondiente a cada rama y marcar sobre el tronco. Estas medidas pueden realizarse con cinta diamétrica o cinta métrica. En el segundo caso, el valor de la circunferencia debe dividirse por el número pi ($\pi = 3,1416$) para obtener el diámetro.
3. El diámetro de la copa se mide con cinta métrica en dirección N-S y E-O, desde la gotera de la copa y hasta la gotera de la copa de la dirección opuesta.
4. Los datos deben ser registrados de manera ordenada en una bitácora de campo, para luego relacionarlos

con la información de fijación de carbono; es decir, convertir el volumen de biomasa en unidades de masa de carbono (tC año^{-1}). Posteriormente, esta categoría de existencias de C (que implican transferencias desde la atmósfera) se convierten en valores de absorción de CO_2 mediante la multiplicación del factor de conversión (+44/12).

5. Finalmente, se debe registrar la información y llevar al balance global de carbono en el agroecosistema para el periodo de evaluación o inventario.

Apeo de árboles

El apeo es un método de medición directo que requiere realizar mediciones destructivas en campo. Sin embargo, al igual que en el procedimiento anterior, su desarrollo involucra realizar mediciones de

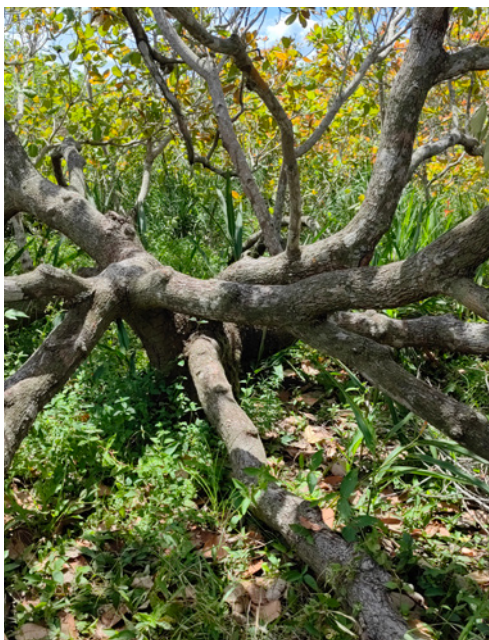
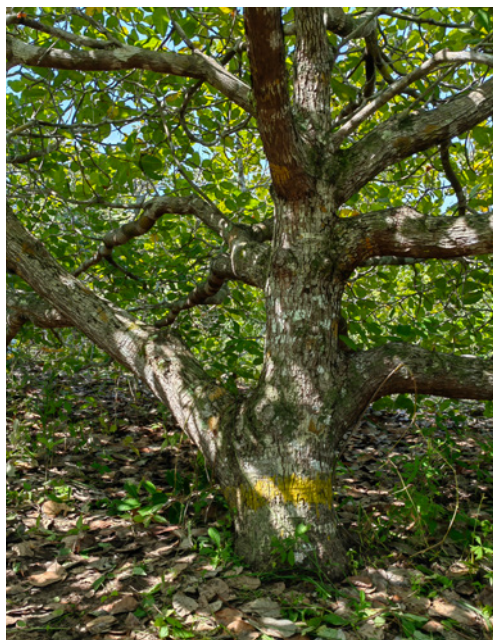


Figura 3.
Formas de ramificaciones en árboles de marañón.
Fotos: Diana Mateus

árboles en pie. La biomasa y el contenido de carbono se determina por planta, pero la cuantificación puede hacerse por componentes, dividiendo la planta de la siguiente forma: a) trozas de un metro de longitud, mayores a 5 cm de diámetro; b) ramas menores a 5 cm de diámetro; c) hojas; d) flores; e) frutos, y f) fuste. En el desarrollo de los apeos se realizan los pasos descritos a continuación:

1. Marcar las plantas para facilitar la actividad y la cubicación (figura 4). En las plantas seleccionadas (aún en pie), a partir de 1,30 m de altura desde el nivel del suelo, se miden y marcan trozas (con diámetros ≥ 5 cm), de 1 m de longitud. Esta marcación
2. determina los puntos de corte posterior con motosierra. En cada troza se debe medir y registrar el diámetro de los extremos con la ayuda de una cinta diamétrica. Es posible que las últimas trozas, antes de que el diámetro sea menor a 5 cm, tengan una longitud diferente a 1 m, dato que se debe registrar. En caso de que las plantas no hayan alcanzado esta altura y diámetro, las mediciones y marcaciones deben iniciar a los 30 cm de altura.
3. Cortar y desprender del árbol las ramas identificadas y marcadas con diámetro ≥ 5 cm (figura 5). Este procedimiento se debe realizar de manera sistemática por ramas principales, dada la frondosidad de la



Figura 4.
Marcación de trozas de un metro de longitud en ramas mayores a 5 cm de diámetro.
Fotos: Diana Mateus



Figura 5.
a. Medición del diámetro de las ramas; b. Corte de la rama principal y separación de trozas con motosierra.
Fotos: Diana Mateus

planta, especialmente en árboles mayores a 10 años.

3. Separar manualmente las hojas de las ramas. Para evitar pérdida de hojas, se sugiere ubicar un plástico sobre la superficie donde se realizará esta actividad. Así mismo, es posible realizar los cortes de las ramas donde finalizan los diámetros ≥ 5 cm e

inician los < 5 cm, pues en estas ramas es donde se encuentran las hojas de la planta. Una vez finalizado el deshoje, se procede a pesar todo el material colectado. Las ramas pueden ser depositadas en un costal de fibra abierto para mayor capacidad de contención y fácil pesaje (figuras 6a y 6b).

4. Cortar las trozas marcadas en las ramas principales, mayores a 5 cm, que para este momento no tendrán hojas ni ramas menores a 5 cm, y extraer rodajas de 4 a 5 cm de grosor de diferentes ubicaciones. Esto permitirá tomar un número representativo de muestras de diversos diámetros en la estructura del árbol (figura 6d). Pesar y registrar el peso fresco de las trozas y de las rodajas. De estas últimas se deben medir, además, el diámetro y los espesores máximo y mínimo de la corteza de cada rodaja.
5. Colectar y pesar las flores y frutos en los árboles (por separado), para obtener la biomasa de estos órganos.
6. Los datos deben ser registrados en el formato diseñado para esta actividad (figura 6e).
7. De cada componente del árbol se deben tomar muestras pesadas y empacadas en bolsas debidamente rotuladas para ser enviadas al laboratorio. En el laboratorio se llevarán al horno a 65 °C por 72 horas, hasta alcanzar un peso constante, momento en el cual se deben sacar del horno, dejar reposar, registrar su peso seco y determinar la relación entre materia seca y fresca.
8. Enviar al laboratorio las muestras de los componentes arbóreos secados en el horno para la determinación de la cantidad de carbono. Una vez recibidos los resultados de carbono en los componentes de la planta, se registran y se procede a realizar la conversión de esta categoría de existencias de C (que implican transferencias desde la atmósfera) en valores de absorción de CO₂, mediante la multiplicación por el factor de conversión (+44/12). Estos datos deben llevarse al análisis de carbono global del agroecosistema en el periodo de evaluación o inventario.

Biomasa subterránea - metodología

La cuantificación de la biomasa de raíces puede hacerse mediante dos métodos directos: el método del monolito de suelos y el de excavación. Estos métodos son de alta precisión, aunque también son exhaustivos, tienen alto costo y demandan tiempo.

Método monolito de suelos

El método del monolito de suelos inicia con la demarcación del área de trabajo. Esta metodología permite conocer

la biomasa de raíces, así como su distribución en la superficie y en el perfil del suelo. Una vez eliminado el componente aéreo, se procede a explorar el componente subterráneo, por lo cual el número de monolitos corresponderá con el número de plantas a medir. Para plantas de 8 años o más, es recomendable realizar una grilla con separaciones de un metro por un metro, cubriendo el área originalmente ocupada por la copa del árbol (figura 7). Posterior a la



e N° de planta	ID troza	Diámetros troza		Longitud de troza (m)	Peso fresco troza (kg)	ID rodaja	Diámetro rodaja (cm)	Grosor de rodaja (cm)	Peso fresco rodaja (kg)
		Dinicio	Dfinal						

N° de planta	Peso fresco hojas (kg)	Peso fresco ramas <5cm (kg)	Peso fresco flores (kg)	Peso fresco frutos (kg)

Figura 6. Separación de planta por componentes para pesaje. a. Método de deshoje; b. Pesaje de hojas; c. Pesaje de trozas; d. Medición del diámetro de rodajas en ramas mayores a 5 cm y pesaje; e. Ejemplo de plantilla de registro de estas variables.
Fotos: Diana Mateus

demarcación, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Extraer un bloque de suelos de 0,20 m de profundidad en cada cuadrícula de 1 m x 1 m. Esto corresponde a bloques de suelo con una dimensión de 1 m x 1 m x 0,20 m (figura 8).
2. Tamizar en zaranda cada bloque para separar las raíces del suelo. Pesar todas las raíces obtenidas y registrar el dato de peso fresco, señalando tanto la ubicación dentro de la grilla como su profundidad.
3. Profundizar en el perfil del suelo para extraer raíces cada 20 cm, entre 0 y 20 cm, 20 y 40 cm, 40 y 60 cm, y así sucesivamente hasta que se encuentren raíces, con el respectivo tamizado y pesaje de las raíces encontradas en cada bloque.
4. Tomar muestras frescas de las raíces representativas de la grilla y cada profundidad, y registrar su peso, empacar y marcar para llevar al laboratorio. Secar en horno a 65 °C hasta obtener peso constante. Este valor será usado para calcular el peso seco

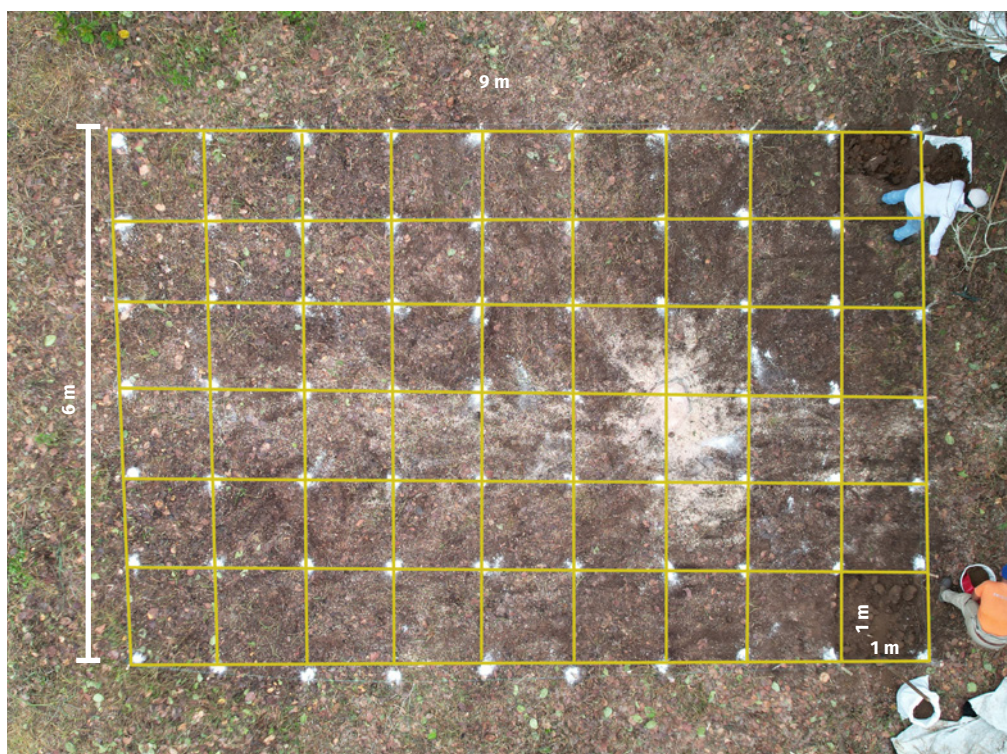


Figura 7.
Cuadrícula de suelo subdividida en cuadros de 1 m x 1 m.
Foto: Hugo Gil



Figura 8.

Esquema del proceso de extracción de los bloques de 1 m x 1 m a 0,20 m de profundidad para determinar la biomasa de raíces.

Fotos: Hernán Camacho y Diana Mateus

total. Enviar al laboratorio las muestras secadas en el horno para determinar el carbono total.

Nota: cuando no existe interés en conocer la distribución de biomasa subterránea, el procedimiento de extracción puede realizarse con maquinaria pesada, sin realizar el muestreo por bloques a través de la grilla en el área demarcada previamente.

Método de excavación

El objetivo de este método es extraer por completo el sistema radical de los árboles seleccionados para cuantificar la biomasa subterránea. Esta técnica se recomienda particularmente para plantas menores de 8 años, en las que sea posible extraer de forma manual una mejor proporción de raíces a través de la excavación. En árboles de gran tamaño resulta una actividad muy exhaustiva, a pesar de proveer la base para un buen cálculo de biomasa.

- El proceso de excavación inicia en el tronco y debe avanzar gradualmente siguiendo las raíces identificadas a medida que se remueve el suelo (figura 9). Este método privilegia la obtención de raíces de diámetro mayores a 5 mm, debido a que no se lleva a cabo el proceso de zarandeo.
- Esta técnica requiere el uso de espátulas, cuchillos y palines. En plantas de gran tamaño se cava alrededor del tronco y se atan las plantas con una cuerda para extraer la mayor cantidad posible de biomasa.
- La cuantificación de biomasa se realiza mediante el pesaje de las raíces frescas, en una balanza, directamente en campo. Una vez pesada la totalidad de raíces, se colectan submuestras, se pesan nuevamente y se llevan a horno de secado a 65 °C por 72-84 horas, dependiendo del diámetro de las raíces colectadas. Se retiran del

horno y se pesan para establecer el peso seco total, así como la relación entre la masa fresca y la masa seca, y se envían al laboratorio para la cuantificación de carbono.

La determinación de la acumulación de biomasa aérea y subterránea en cultivos de marañón y la posterior determinación del contenido de carbono permite avanzar en las estimaciones del *stock* de carbono fijado en la biomasa en Nivel 3, de acuerdo con los lineamientos del IPCC (2019). El método específico se realiza a partir de la cuantificación de biomasa descrita anteriormente. Además, se deben incluir en el balance los datos correspondientes a las actividades de gestión, que permitan estimar los cambios netos en las reservas de carbono de la biomasa de los agroecosistemas de marañón. Por ejemplo, la recolección o cosecha de biomasa y la fertilización.

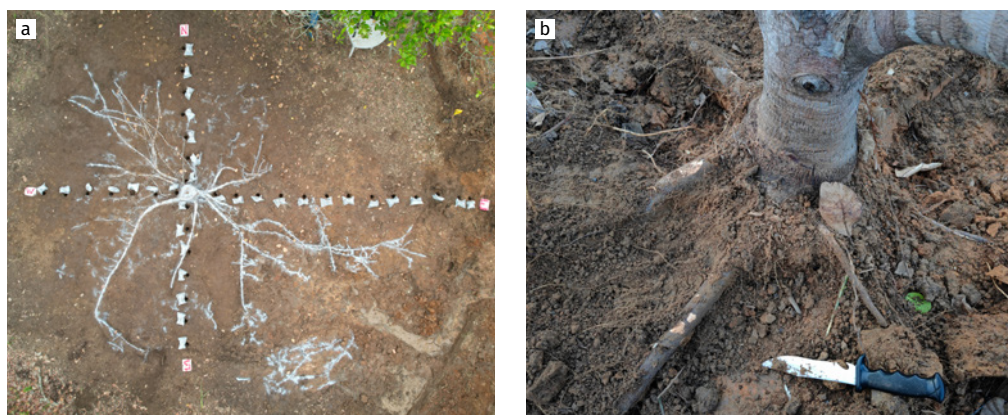


Figura 9.

Excavación de raíces. a. Excavación superficial para establecer plan de remoción de suelo e identificar raíces principales; b. Inicio de excavación en tronco.

Fotos: Hugo Gil y Diana Mateus

Biomasa de la vegetación rasante - metodología

La vegetación rasante constituye un depósito significativo de carbono en diferentes ecosistemas, incluyendo los agroecosistemas de marañón. Esta biomasa generalmente no leñosa se renueva anualmente o en unos pocos años y, por lo tanto, las reservas netas de carbono del estrato rasante se pueden considerar constantes. Por esta razón, su monitoreo y caracterización es importante para el balance global de carbono en el agroecosistema. La cuantificación de la biomasa rasante se realiza a través del muestreo en parcelas determinadas (en los mismos lotes de muestreo de biomasa aérea y subterránea), con la ayuda de marcos de 50 x 50 cm. Los sitios de muestreo deben tener en cuenta el interior de la copa de los árboles de marañón y la calle de la parcela o arreglo espacial del cultivo. La elección de los puntos se realiza de manera aleatoria, lanzando el marco en los sitios preestablecidos (figura 10). En estos muestreos se procura tomar las muestras en parcelas representativas, incluyendo la totalidad de la vegetación al interior del marco. Los pasos a seguir en este procedimiento se describen a continuación:

1. Elegir los sitios de muestreo de acuerdo con los arreglos de siembra de cada agroecosistema (al menos tres parcelas, como se mencionó en el apartado “Biomasa aérea arbórea”), teniendo en cuenta las áreas del interior de las copas y las calles entre árboles de marañón.
2. Contar y determinar la abundancia relativa (porcentaje de morfoespecies en el cuadrante), y registrar en la bitácora de campo.
3. Cortar la biomasa de morfoespecies a ras de suelo, pesar la biomasa colectada y tomar alícuotas para llevar al laboratorio para su secado y determinación de carbono. Los resultados de contenido de carbono se registran en la base de datos para los posteriores cálculos.

Nota: se recomienda realizar esta actividad en diferentes épocas, durante la transición época seca-época lluviosa, en la época lluviosa, en la transición época lluviosa-época seca y en la época seca, a fin de obtener información más precisa de la cantidad de biomasa y el aporte de carbono desde la vegetación rasante.



Figura 10.

Muestreo de vegetación en estrato rasante en marcos de 50 x 50 cm al interior de la copa y en la calle para inventarios de carbono y composición de morfoespecies.

Fotos: Diana Mateus y Eldire Tafur

An aerial photograph of a coastal landscape. In the foreground, a large pile of cut mangrove logs lies on the ground. To the right, a dense network of dead, light-colored mangrove roots (lupines) spreads across the terrain. The background features lush green mangrove vegetation and a dirt path where a motorcycle is parked. The overall scene illustrates the biomass of dead organic material in a coastal ecosystem.

Capítulo II. Biomasa del material muerto

Foto: Hugo Gil

La mayor parte de la producción de biomasa o la producción primaria neta (PPN) contenida en el material vegetal vivo eventualmente se transfiere a depósitos de materia orgánica muerta (MOM) (es decir, madera muerta y hojarasca). Algunos depósitos de MOM se descomponen rápidamente, devolviendo el carbono a la atmósfera, pero una parte se retiene en los agroecosistemas durante meses, años o décadas (IPCC, 2019), dependien-

do de su gestión. Este depósito juega un rol importante en la dinámica del carbono en el horizonte superficial del suelo. La hojarasca y la madera muerta provenientes de árboles de marañón y de especies acompañantes resultan en una descomposición gradual que contribuye al ciclo de nutrientes, al ingreso del carbono en el suelo y, por tanto, a la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Biomasa en la hojarasca

La cuantificación de la biomasa de la hojarasca puede realizarse mediante la instalación de tres trampas (lonas, costales o polisombra) de 1 m x 1 m, dispuestas de la siguiente forma: una entre el tallo y el final de la copa, otra al final de la copa de un árbol representativo y una en el centro de la calle (figura 11). El procedimiento para realizar la colecta y cuantificación de biomasa y contenido de carbono se describe a continuación:

1. Definir el periodo de colecta y los intervalos de tiempo, que pueden determinarse entre 8 y 15 días por dos meses en las épocas de lluvia, de transición de lluvias y seca.
2. Colectar la hojarasca, pesar hojas, ramas y ramillas y el total. Tomar una muestra compuesta por repetición (área asociada a un árbol) y enviar al laboratorio.

3. Determinar la biomasa seca y el contenido de carbono, y llevar los resultados de contenido de carbono determinados en el laboratorio a unidades de masa de C por hectárea en el año, mediante la relación entre la masa y el volumen de biomasa de hojarasca y los cambios producidos en cada etapa evaluada.

Nota: una mayor precisión de la entrada de biomasa muerta al suelo y, por tanto, a los depósitos de C, puede lograrse a través de pruebas de tasas de descomposición, evaluando la descomposición de los residuos vegetales y la respiración basal por la descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo, y teniendo en cuenta los diferentes periodos en el año, ya que el proceso puede ser afectado por la temperatura, la humedad y el mismo material orgánico.

Determinación de necromasa (residuos de madera muerta)

La necromasa o los residuos de madera muerta en el agroecosistema de marañón también deben ser considerados en el análisis global de carbono. Por esta razón, si en el cultivo de marañón hay presencia de este componente, el muestreo para la colecta y la determinación de carbono puede realizarse mediante el procedimiento propuesto por Harmon & Sexton (1996), descrito a continuación:

1. Establecer la línea de muestreo (transecto) con una longitud de 30 m de largo y 30 m de ancho (900 m²), es decir, un muestreo de intersección de líneas. Esto corresponderá a dos o tres calles, dependiendo de las distancias de siembra.
2. Acumular y pesar los residuos de madera muerta con diámetro mayor a 3 cm encontrados en este transecto, y registrar los datos en la bitácora de campo.
3. Tomar submuestras, pesar y registrar los datos. Luego, empacarlas, marcarlas y enviarlas al laboratorio para secado en estufa a 65 °C por 48 horas.
4. Retirar de la estufa y pesar nuevamente para establecer la relación entre peso fresco y peso seco, y determinar el contenido de carbono de la madera muerta. Registrar los resultados de contenido de carbono determinados en el laboratorio.

5. Transformar los resultados de contenido de carbono de la madera muerta en unidades de masa de C por hectárea en el año, mediante la relación con el volumen de madera muerta determinada en los agroecosistemas de marañón y sus variaciones en el periodo de evaluación. Incorporar al balance global de carbono del agroecosistema, ya que hacen parte del ciclaje de C en el sistema.

Nota: en cultivos de marañón mayores de 14 años, en donde las podas no son frecuentes, suele encontrarse alta cantidad de madera muerta en la planta. Por eso, es importante coleccionar esta madera, desde la base hasta 1,60 m de altura de los árboles en pie, en el transecto seleccionado. El material debe ser pesado y seguir el procedimiento anterior para determinar el contenido de carbono y transformar en cantidad de carbono para introducirlo a los cálculos finales del balance global del agroecosistema. Como se indicó en el anterior componente, puede evaluarse la tasa de descomposición para determinar los flujos por respiración basal relacionada con la actividad microbiana y teniendo en cuenta diferentes periodos en el año, ya que el proceso puede verse afectado por la temperatura, la humedad y el mismo material orgánico.



Figura 11.

Trampas para captura de hojas ubicadas en la calle y al interior de la copa.

Fotos: Eldire Tafur y Diana Mateus



Capítulo III. Determinación del carbono orgánico en el suelo (COS)

Foto: Diana Mateus

La contabilidad de los cambios en las existencias de carbono del suelo se estima considerando su variación con respecto a los valores de referencia en el uso previo y actual del suelo. Para este procedimiento, es importante tener en cuenta la información de la clasificación de la región climática y el tipo de suelo, siguiendo los lineamientos de inventarios de gases de efecto invernadero del IPCC (2006, 2019). De acuerdo con los lineamientos, esta estimación considera los primeros 30 cm del perfil superior del suelo. No obstante, la medición puede hacerse a mayor profundidad, indicando de manera clara los rangos bajo los cuales se hará el procedimiento. Por ejemplo, cada 10, 20 o 30 cm hasta un metro de profundidad, ya que el carbono almacenado a mayor profundidad del perfil del suelo es el menos susceptible a sufrir procesos de reemisión.

En los cultivos de marañón, la determinación del CO se realiza mediante la toma de muestras de suelo en la plantación, como se describe a continuación:

1. Definir parcelas que incluyan sitios de muestreo contrastantes, área de la gotera de la planta y calle del cultivo. Esta decisión se toma porque las prácticas de gestión en estas áreas (como aportes de abonos orgánicos, disposición de residuos de podas, aportes de fertilizantes o implementación de cultivos de servicios) afectan la acumulación de carbono en el suelo.
2. Determinar la profundidad de las muestras en el perfil del suelo de acuerdo con los instrumentos dispo-

nibles para la extracción y procesamiento de las muestras, así como con el enfoque metodológico y los propósitos del estudio. En caso de usar barreno muestreador de núcleos (figura 12), el muestreo para la cuantificación del contenido de carbono puede llevarse a cabo hasta un metro de profundidad. De lo contrario, se puede realizar el procedimiento a través de calicatas o cajuelas hasta la profundidad deseada.

3. Tomar muestras de suelo para determinar el contenido de C (en porcentaje en cada profundidad), separando a cada perfil de profundidad establecido (0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 cm), en el núcleo extraído o en la calicata o cajuela. Cuando el muestreo se hace por el segundo procedimiento, se deben tomar muestras con anillos para establecer la densidad aparente en cada perfil, en tanto que, para las muestras tomadas con barreno, la densidad aparente se calcula con el peso de las secciones definidas en el núcleo del perfil del suelo y su relación con la medida de altura.

Nota: las muestras entre 0 y 30 cm de profundidad pueden tomarse con palín, siguiendo el procedimiento estándar para toma de muestras de análisis químico de suelos. Simultáneamente, se deben tomar muestras con anillos para determinar la densidad aparente, en este perfil.

4. Marcar y empacar las muestras para determinación de carbono y densidad aparente, y enviar al laboratorio para su análisis.

5. Cuantificar la cantidad de COS (toneladas de carbono orgánico de suelo por hectárea - tCh_a^{-1}), según la ecua-

ción propuesta por Mathew et al. (2016) (ecuación 1).

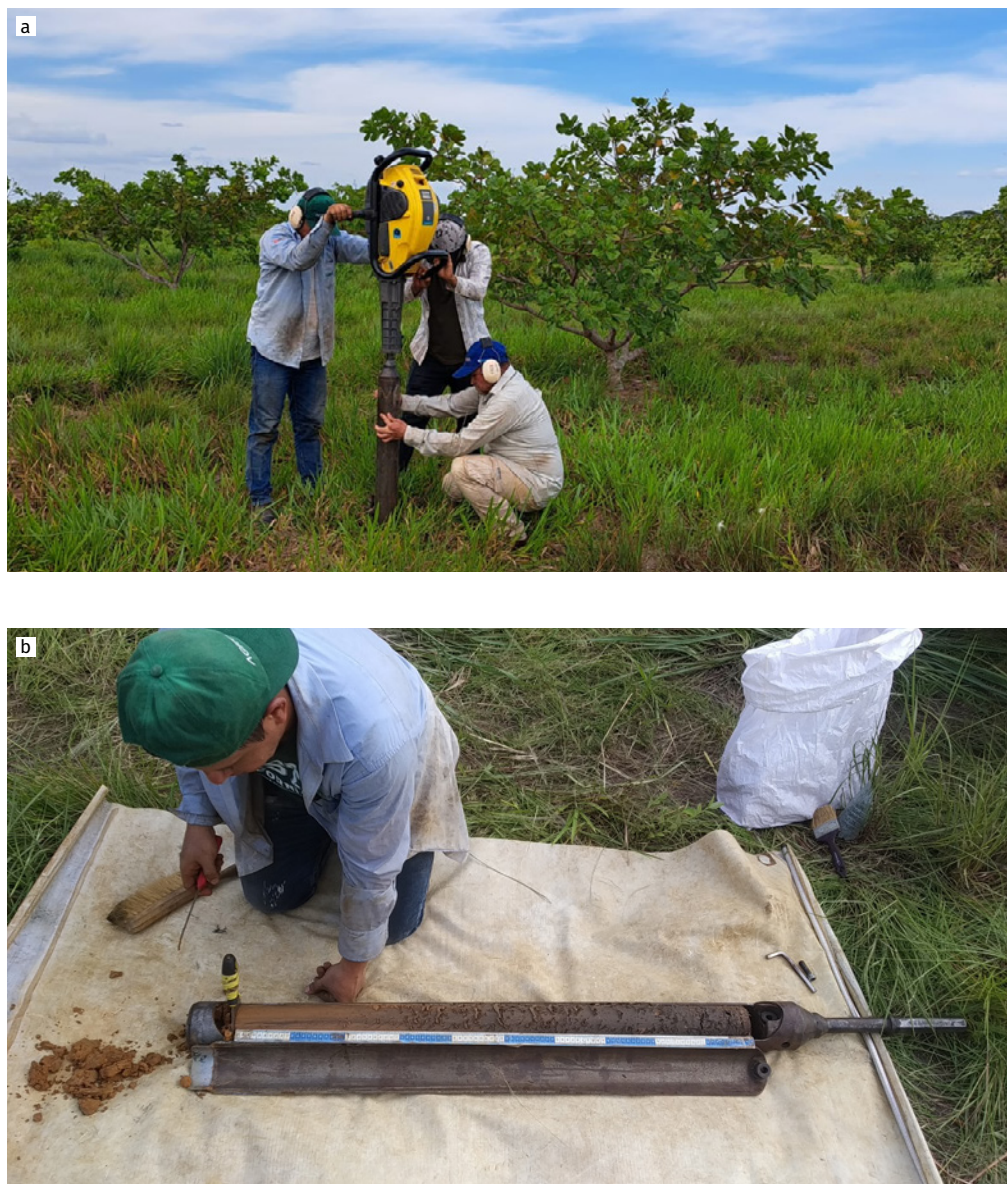


Figura 12.

Muestreo en calle de cultivo para cuantificación de COS. a. Muestreo mediante barreno de núcleo de suelos; b. Muestra de un núcleo de suelo de un metro.

Fotos: Diana Mateus

Nota: tomar muestras a mayor profundidad permite estimar el almacenamiento en el perfil del suelo considerando su im-

portancia como depósito para el secuestro y almacenamiento de carbono.

$$COS = \left(\frac{C}{100} \right) \times \rho \times D \times \left(1 - \frac{FG}{100} \right) \times 100$$

(Ecuación 1)

Donde:

COS = stock de carbono orgánico del suelo

C = contenido de carbono en suelo, determinado en el laboratorio (%)

P = densidad aparente (g cm⁻³)

D = profundidad del perfil del suelo en donde se toma la muestra (en cm)

FG = % del volumen de fragmentos gruesos/100

100 = factor de conversión para tCha⁻¹

A person wearing a blue cap and a green long-sleeved shirt is using an orange chainsaw to cut a branch of a large tree with green leaves. The person is seen from the back, and the chainsaw is held high to reach the branch. The background shows more of the tree and a clear blue sky.

Capítulo IV. Cálculo del stock de carbono en la biomasa y el suelo

Foto: Diana Mateus

Stock de carbono en la biomasa aérea (SBa) y subterránea (SBs)

La biomasa total aérea y subterránea estimada por método directo o indirecto entregará información de la unidad o individuo medido en kg de materia seca (kg árbol⁻¹), luego de pasar por el horno. La biomasa aérea y subterránea recopilada en campo es llevada a volumen global por hectárea, y luego a unidades de masa de carbono mediante la relación

biomasa seca y contenido de carbono determinado en laboratorio. Sin embargo, cuando no se hacen mediciones directas ni procesamiento en laboratorio, se puede emplear el valor por defecto sugerido por el IPCC (2019), correspondiente a 0,5, mediante la ecuación 2 para biomasa aérea.

$$\text{Stock de carbono } SC_{Ba} = Ba + FC$$

(Ecuación 2)

Donde:

Stock de carbono SC_{Ba} = cantidad total de carbono en la biomasa aérea (tC ha⁻¹)

Ba = cantidad de biomasa aérea seca (t ha⁻¹)

FC = factor de conversión de carbono (por defecto) o por el contenido de C determinado en el laboratorio

La cantidad de carbono en la biomasa subterránea seca y su relación con la cantidad total en la hectárea y, posterior-

mente, en masa de carbono, se calcula mediante el mismo procedimiento (ecuación 3):

$$\text{Stock de carbono } SC_{Bs} = Bs * FC$$

(Ecuación 3)

Donde:

Stock de carbono SC_{Bs} = cantidad total de carbono en la biomasa subterránea (tC ha⁻¹)

Bs = cantidad de biomasa subterránea seca (t ha⁻¹)

FC = factor de conversión de carbono (por defecto) o por el contenido de C determinado en biomasa subterránea en el laboratorio.

Finalmente, estos datos se deben convertir en valores de absorción de CO₂, mediante la multiplicación por factor de conversión (+44/12), e incluirlos en el

análisis de carbono global del agroecosistema en el periodo de evaluación o inventario.

Cambios en el stock de carbono en la biomasa aérea (SBa) y subterránea (SBs)

Las estimaciones del cambio de biomasa en cultivos perennes (ganancia y eventualmente, las pérdidas asociadas, por ejemplo, a incendios, extracción de madera para leña y otros) pueden hacerse siguiendo los lineamientos del IPCC. Estas estimaciones también permiten determinar los cambios netos del contenido de carbono para cultivos de marañón que permanecen en la misma

categoría de uso. Cuando no se realizan mediciones directas ni indirectas a través de modelos de crecimiento para determinar la ganancia de biomasa y cantidades de carbono fijadas en biomasa aérea y subterránea, se utilizan las estimaciones.

Según el IPCC (2006), la ganancia de biomasa puede estimarse a partir del método de relación de ganancias y pérdidas, como se determina en la ecuación 4.

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

(Ecuación 4)

Donde:

ΔC_B = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa (suma de biomasa aérea y subterránea), considerando la superficie total del cultivo de marañón (tC año⁻¹ ha⁻¹)

ΔC_G = aumento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa aérea y subterránea, considerando la superficie total del cultivo de marañón (tC año⁻¹ ha⁻¹)

ΔC_L = reducción anual de las existencias de carbono debido a pérdidas de biomasa aérea y subterránea, considerando la superficie total del cultivo de marañón (tC año⁻¹ ha⁻¹)

El cambio temporal en la biomasa aérea y subterránea de los cultivos de marañón en dos momentos diferentes (anual o interanual) se estima por el método de diferencia de existencias en-

tre el momento 2 (t_2) y el momento 1 (t_1), dividido por la cantidad de años transcurridos entre las existencias, utilizando la ecuación 5 (IPCC, 2006).

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

(Ecuación 5)

Donde:

ΔC_B = cambio anual de las existencias de carbono de la biomasa aérea y subterránea, considerando la superficie total del cultivo de marañón (tC año⁻¹)

C_{t_2} = total de carbono en biomasa en el momento t_2 (t de C)

C_{t_1} = total de carbono en biomasa en el momento t_1 (t de C)

C = total de carbono en biomasa para el periodo t_1 a t_2

Stock de carbono en la vegetación rasante (BVR)

El porcentaje de materia seca de la vegetación rasante se determinará con la fórmula $MS = (PS/PF) * 100$.

Donde:

MS = materia seca en porcentaje

PS = peso seco de la muestra después de tres días en el horno a 65 °C, en gramos (g)

PF = peso fresco de la muestra medida en campo, en gramos (g)

La biomasa global se calcula usando la ecuación 6.

$$B = \frac{(PFT * MS)}{10}$$

(Ecuación 6)

Donde:

PFT = total de peso fresco determinado en campo (g)

MS = porcentaje de materia seca (%)

El total de biomasa debe ser llevado a unidades de masa de C por hectárea en el año, mediante la relación entre la masa y la abundancia relativa de cada morfoespecie en la vegetación rasante de los agroecosistemas de marañón y el contenido de carbono determinado en

el laboratorio, o utilizando el valor por defecto sugerido por el IPCC (ecuación 7). Los datos de colecta de vegetación rasante se hacen en cuadrantes de monitoreo (por ejemplo, kg en 0,25 m²), los cuales deben convertirse a toneladas por hectárea.

$$\text{Stock de C BVR} = \text{BVR} * \text{FC}$$

(Ecuación 7)

Donde:

Stock de C BVR = cantidad de C en biomasa de rasante (tC ha⁻¹)

Bvr = total de biomasa rasante seca por morfoespecie (t)

FC = contenido de C reportado por morfoespecie o factor de conversión por defecto

Finalmente, estos datos se deben convertir en valores de absorción de CO₂, mediante la multiplicación por factor de conversión (+44/12), y ser incluidos en el

análisis de carbono global del agroecosistema en el periodo de evaluación o inventario.

Cambios en el *stock* de carbono en la biomasa de la vegetación rasante (BVR)

Los cambios temporales en las existencias de carbono de la biomasa rasante en agroecosistemas de marañón, generalmente pastizales, se renuevan anualmente o en pocos años. Por lo tanto, las reservas netas de carbono en esta biomasa permanecen constantes (IPCC, 2019). No obstante, si se presentan acciones de intervención como la implementación de cultivos de servicios, o de perturbación, como incendios provocados o no provocados, aplicación de herbicidas o remoción de las calles y estrato rasante, se deben contabilizar los cambios, utilizando el enfoque de biomasa aérea y subterránea (ecuaciones 4 y 5). Esta evaluación se debe realizar para determinar la ganancia o pérdida de carbono en el tiempo.

Stock de carbono en necromasa o material muerto (SCMm)

La cantidad de biomasa de material muerto en el transecto radial o parcela evaluada (por ejemplo, 900 m² y llevada a una hectárea) se obtiene a partir de la multiplicación del porcentaje de materia seca determinado, mediante la relación entre la masa seca (MS) por el total de la biomasa fresca del área del transecto radial o parcela. Posteriormente, este valor se convierte en unidades de masa de carbono (tC) de materia seca de material muerto (Bmm), determinada en el laboratorio o mediante factores de conversión por defecto. La ecuación 8 determina el procedimiento general para el cálculo de carbono en la necromasa o material muerto. A partir de esta información, se calcula el *stock* de carbono de la siguiente forma:

$$\text{Stock C SCMm} = Bmm * \text{Carbono contenido (FC)}$$

(Ecuación 8)

Donde:

Stock de C SCMm = cantidad de C en necromasa o material muerto (tC ha^{-1})

Bmm = total de necromasa o material muerto (madera y hojarasca) (t ha^{-1})

FC = contenido de C reportado en muestras enviadas al laboratorio o factor de conversión por defecto

Finalmente, estos datos se deben convertir en valores de absorción de CO_2 , mediante la multiplicación por factor de conversión (+44/12), y ser incluidos en el análisis de carbono global del agroecosistema en el periodo de evaluación o inventario.

Carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono almacenado en el suelo se determina como se presentó en el capítulo III y luego se agrega al balance global de carbono en los agroecosistemas de marañón. No obstante, si no se realizan mediciones directas, el COS se puede estimar mediante el uso de la ecuación 1, con los datos de los estudios de suelos del territorio, incluyendo la información del contenido de carbono en los perfiles del suelo, la densidad aparente del suelo en el mismo perfil, la profundidad del perfil y el porcentaje de fragmentos gruesos de perfiles modales de las unidades cartográficas de suelos correspondientes a los diferentes agroecosistemas de marañón. En caso de utilizar este enfoque, y si el agroeco-

sistema comprende más de una unidad cartográfica de suelos, y por tanto varios perfiles modales, se incluye la información de contenido de carbono (en %) en los mismos perfiles y se saca el promedio ponderado, y junto con los valores de densidad aparente y el porcentaje de fragmentos gruesos y el espesor del perfil de los datos de carbono, se calcula la cantidad de COS por área (hectárea), siguiendo la ecuación 1. De acuerdo con el IPCC (2019), las existencias de COS se pueden calcular a 30 cm de profundidad; no obstante, si hay información a mayor profundidad (medida o reportada en los estudios de suelos), es importante considerarla, ya que esto representa el COS almacenado y con menor posibilidad de reemisión.

Finalmente, el *stock* de COS (secuestro y almacenamiento) se convierte en valores de absorción de CO_2 , mediante la multiplicación por factor de conversión (+44/12), y se llevan los datos al análisis de carbono global del agroecosistema en el periodo de evaluación o inventario.

Cambios en el stock de carbono orgánico del suelo (COS)

Los inventarios de C del suelo incluyen estimaciones de los cambios en las existencias de COS para los suelos minerales y las emisiones de CO₂ de los

suelos orgánicos, debido a una mayor descomposición microbiana (IPCC, 2019). La ecuación 9 permite estimar el cambio total en las reservas de C del suelo.

$$\Delta C_{\text{suelos}} = \Delta C_{\text{mineral}} - L_{\text{orgánico}} + \Delta C_{\text{inorgánico}}$$

(Ecuación 9)

Donde:

ΔC_{suelos} = cambio anual en las reservas de COS en el suelo (tC año⁻¹)

$\Delta C_{\text{mineral}}$ = cambio anual en las reservas de COS minerales (tC año⁻¹)

$L_{\text{orgánico}}$ = pérdida anual de CO en suelos orgánicos drenados (tC año⁻¹)

$\Delta C_{\text{inorgánico}}$ = cambio anual en las reservas de carbono inorgánico de los suelos (tC año⁻¹) (cuando no se realizan mediciones directas, se utiliza un valor de 0)

El IPCC (2019) determina que el método para calcular el cambio de existencias de C en suelos minerales ($\Delta C_{\text{mineral}}$) se basa en los cambios durante un periodo finito de 20 años. El cambio en las reservas de C orgánico en suelos minerales ($\Delta \text{COS}_{\text{mineral}}$) se determina calculando las reservas de carbono que quedan después de un cambio de gestión o uso del suelo, en relación con las reservas de C orgánico de una condición de referencia. Este es el caso de los suelos de la Orinoquia, en donde se encuentran los agroecosistemas de marañón y donde el cambio se hace desde coberturas de sabana nativa o bosque.

La reserva de C orgánico del suelo en una condición de referencia para el método de Nivel 1 se define con tierras no degradadas y no mejoradas, bajo vegetación nativa, teniendo en cuenta dos suposiciones: 1) con el tiempo, las reservas de COS alcanzan un valor

estable, que puede ser promediado espacialmente (este es específico para el tipo de suelo, el clima, el uso de la tierra y las prácticas de gestión), y 2) el cambio en las existencias de COS durante la transición a una nueva cantidad de COS en equilibrio se produce de forma lineal en un periodo de 20 años. El supuesto 1, que determina que, bajo un conjunto dado de condiciones climáticas y de manejo, los suelos tienden a tener una reserva de COS en equilibrio, es regularmente aceptado (IPCC, 2019).

Nota: en agroecosistemas de marañón en la Orinoquia, es necesario tener en cuenta que las prácticas de gestión (por ejemplo, implementación de cultivos de servicios y aportes de materiales orgánicos) y el cambio desde sabanas nativas pueden representar cambios en menor tiempo que deben ser medidos.

El método de Nivel 1 del IPCC (2019) determina que las tasas anuales de cambio de las existencias de carbono se estiman como la diferencia en las exis-

tencias en dos momentos en el tiempo, dividida por la dependencia temporal de los factores de cambio de las existencias, de acuerdo con la ecuación 10.

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{COS_0 - COS_{(0-1)}}{D}$$

$$COS_{Mineral} = \sum_{c,s,i} (COS_{REF_{c,s,i}} * F_{LU_{c,s,i}} F_{MG_{c,s,i}} F_{I_{c,s,i}} A_{c,s,i})$$

(Ecuación 10)

Donde:

$\Delta C_{Mineral}$ = cambio anual en las existencias de C orgánico en suelos minerales (tC año⁻¹)

COS_0 = existencias de C orgánico del suelo mineral ($COS_{Mineral}$) en el último año de un periodo de inventario (tC)

$COS_{(0-T)}$ = existencias de C orgánico del suelo mineral ($COS_{Mineral}$) al comienzo del periodo del inventario (tC)

T = número de años durante un único periodo de inventario (años)

D = dependencia temporal de los factores de cambio de existencias de C orgánico del suelo mineral (periodo predeterminado para la transición entre los valores de COS en equilibrio, (año)). Normalmente es de 20 años, pero depende de las suposiciones hechas al calcular los factores F_{LU} , F_{MG} y F_I . Si T excede a D , se utiliza el valor de T para obtener una tasa de cambio anual durante el periodo de tiempo del inventario (0-T años).

c = zonas climáticas incluidas en el inventario

s = tipos de suelo incluidos en el inventario

i = conjunto de sistemas de gestión incluidos en el inventario

$COS_{Mineral}$ = reserva total de C orgánico del suelo mineral en el momento definido (tC)

$COS_{REF_{c,s,i}}$ = reserva de C orgánico del suelo para suelos minerales en la condición de referencia (tC ha⁻¹)

$F_{LU_{c,s,i}}$ = factor de cambio de existencias para sistemas o subsistemas de uso de la tierra de COS mineral para un uso de la tierra particular (adimensional)

$F_{MG_{c,s,i}}$ = factor de cambio de existencias de C orgánico del suelo mineral para el régimen de manejo (adimensional)

$F_{I_{c,s,i}}$ = factor de cambio del stock de C orgánico del suelo mineral para el aporte de enmiendas orgánicas (adimensional)

A = superficie terrestre del ecosistema que se estima (hectárea)

En el método 2, de acuerdo con el IPCC (2019), los cambios en las existencias de carbono para los suelos minerales también se utiliza la ecuación 10, pero involucrando datos de cantidad de carbono específicos para el país o región y/o factores de cambio de existencias, datos ambientales y de actividad de uso de la tierra específicos, como en el caso

de agroecosistemas de marañón. La tabla 1 presenta información de cantidades de carbono en suelos de la Orinoquia. Estos datos, junto con información de datos de actividad, permiten calcular los cambios en las existencias de carbono en los agroecosistemas de marañón en la Orinoquia.

Tabla 1.
Existencias de COS en suelos minerales de sabana nativa, bosque y cultivos de marañón en diferentes edades

Cobertura de suelo	Años	Cantidad de carbono (tCOS ha ⁻¹)
Sabana nativa	No aplica	27,6
Bosque nativo	No Aplica	32,0
Cultivo de marañón (manejo diferencial)	0 a 5	37,5
Cultivo de marañón (convencional)	0 a 5	26,4 a 27,7
Cultivo de marañón (convencional)	14	33,0

Fuente: Elaboración propia

La aplicación del método de Nivel 3 en los cambios de las existencias de carbono para los agroecosistemas de marañón requiere mediciones más detalladas y específicas, como eliminación de biomasa y tratamiento posterior a la limpieza de residuos vegetales (incluidos los desechos de madera y hojarasca), ya que la variación en la eliminación y el tratamiento de residuos (por ejemplo,

quema o preparación del suelo) afectarán los aportes de C a la formación de materia orgánica del suelo y las pérdidas de C por descomposición y combustión. Para estas estimaciones se pueden tener en cuenta los factores de cambio en las existencias de carbono, según las prácticas de gestión y las conversiones de uso de la tierra a tierras de cultivo, expresados en la tabla 2 (IPCC, 2019).

Tabla 2.
Factores de cambio en las existencias de suelo (F_{LU} , F_{MG} , F_I) para las conversiones de uso de la tierra a tierras de cultivo

Tipo de valor de factor	Nivel	Régimen climático	Valor predeterminado del IPCC	Error	Definición
Uso del suelo	Bosque o pastizal nativo (no degradado)	Tropical	1	NA	Representa los bosques y pastizales nativos o de largo plazo, no degradados y gestionados de forma sostenible.
Uso, gestión y aportes de la tierra	Pastizales gestionados	Tropical	1,11	± 7 %	

± Estimación nominal del error, equivalente a dos veces la desviación estándar, como porcentaje de la media.

NA: No aplicable, donde los valores del factor constituyen valores de referencia definidos.

Fuente: IPCC (2019)

Los pasos para el cálculo de los cambios en las existencias de carbono en el suelo por hectárea de tierra convertida a tierra de cultivo en suelos minerales, siguiendo los lineamientos del IPCC (2019), se describen a continuación:

1. Organizar los datos en periodos de tiempo del inventario basados en los años en los que se recopilan los datos de actividad (por ejemplo, 2000 a 2005, 2005 a 2010, 2010 a 2015, 2015 a 2020).
2. Determinar la cantidad de tierra convertida en tierra de cultivo de marañón, considerando los datos

ambientales. El primer año del periodo del inventario dependerá del paso temporal de los datos de la actividad (0-T; por ejemplo, hace 5, 10 o 20 años).

3. Para pastizales convertidos en tierras de cultivo de marañón, se deben clasificar los pastizales anteriores en el sistema de gestión, por ejemplo, sabanas nativas o intervenidas.
4. Asignar valores locales de existencias de C de referencia (COS_{REF}), teniendo en cuenta las características del clima y del tipo de suelo.
5. Asignar el factor de uso de la tierra (F_{LU}), el factor de gestión (F_{MG}) y los

niveles de ingreso de C (F_i) para cada pastizal, según la clasificación de gestión (paso 2). Los valores de F_{LU} , F_{MG} y F_i se encuentran en la tabla 2 para pastizales. Cuando no hay datos locales, se supone que los valores son 1 para todos los demás usos del suelo.

6. Multiplicar los factores (F_{LU} , F_{MG} , F_i) por la reserva de C del suelo de referencia para estimar una reserva de C orgánico del suelo “inicial” ($COS_{(0-T)}$) para el periodo de tiempo del inventario.
7. Estimar la reserva final de C orgánico del suelo (COS_o), repitiendo los pasos 1 a 5 y utilizando la misma reserva de C de referencia (COS_{REF}), pero con factores de uso de la tierra, manejo e insumos que representen las condiciones para la tierra de cultivo de marañón en el último año de inventario (año 0).
8. Estimar los cambios anuales promedio de las existencias de COS para tierras convertidas a tierras de cultivo ($\Delta C_{Mineral}$), restando las existencias “iniciales” de C orgánico del suelo ($COS_{(0-T)}$) a las existencias finales de C orgánico del suelo (COS_o), para luego dividir por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (es decir, 20 años utilizando los factores predeterminados).

Nota: si el periodo del inventario es mayor a 20 años, entonces se dividirá por la diferencia entre el año inicial y final de ese periodo.

9. Repetir los pasos 2 a 8 si hay periodos de inventario adicionales (por ejem-

plo, 2000 a 2010, 2011 a 2020). Tenga en cuenta que las tierras convertidas en tierras de cultivo de marañón pueden mantener esa designación durante 20 años. Por lo tanto, los periodos de inventario que sean inferiores a 20 años deben hacer referencia al periodo de inventario para evaluar si una parcela de tierra se considera *tierra convertida en tierra de cultivo* o *tierra de cultivo que sigue siendo tierra de cultivo*.

Nota: de acuerdo con los datos reportados en la tabla 1, puede ajustar los factores de cambio de existencias de C para el cambio de uso de suelo a agroecosistemas de marañón o tomar de referencia los datos de contenido de carbono reportados en el *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Vichada: Escala 1:100.000* (IGAC, 2014).

Stock de carbono total en el área de trabajo (agroecosistema de marañón)

Para calcular el stock de carbono total (CT) en agroecosistemas de marañón, se suman las existencias de carbono en cada uno de los depósitos determinados a través de las mediciones directas, calculados a través de datos de información secundaria (datos reportados en estudios de suelos) o estimados con factores por defecto del IPCC. La sumatoria se hace siguiendo la ecuación 11, tomando en cuenta que las cantidades de carbono se encuentren en una misma unidad, $tC\ ha^{-1}$.

$$CT_{AM} = SCBa + SCBs + SCBvr + SCBMm + COS$$

(Ecuación 11)

Donde:

- CT_{AM} = carbono total en el agroecosistema de marañón (tC ha⁻¹)
- $SCBa$ = cantidad de carbono en la biomasa aérea (tC ha⁻¹)
- $SCBs$ = cantidad de carbono en la biomasa subterránea (tC ha⁻¹)
- $SCBvr$ = cantidad de carbono en la biomasa de la vegetación rasante (tC ha⁻¹)
- $SCBMm$ = cantidad de carbono aportado al suelo por la necromasa o material muerto (tC ha⁻¹)
- COS = cantidad de carbono orgánico en el suelo (tC ha⁻¹)

Recursos empleados en los métodos directos de muestreo

En la tabla 3 se presenta la mano de obra de métodos de estimación de biomasa y el equipo sugerido para el desarrollo directos.

Tabla 3.
Recursos requeridos para el desarrollo de las actividades

Componente	Actividad	Equipos y herramientas	Personal sugerido	Tiempo empleado
Biomasa aérea	Marcación, apeo, pesaje y registro	- Cinta métrica y diamétrica 2 machetes 1 motosierra mediana (para árboles mayores de 5 años) - Tijeras de poda de dos manos	5 personas	1 hora (plantas < 2 años)
				2 horas (plantas de 4 a 7 años)
		- Tijera de poda de una mano 1 balanza con capacidad de 50-80 kg 1 balanza con capacidad de 6 kg - Bolsas plásticas y de papel - Lonas, plástico grande - Marcadores - Formatos de registro	7 personas	4-5 horas (plantas de 8 a 14 años)
				5-7 horas (plantas > 15 años)

Continúa ➡

Componente	Actividad	Equipos y herramientas	Personal sugerido	Tiempo empleado
Biomasa subterránea	Excavación	• 2 palines • Cuchillos, espátula • 1 balanza con capacidad de 50-80 kg • 1 balanza con capacidad de 6 kg • Bolsas plásticas y de papel • Marcadores • Formatos de registro	5 personas	1,5 horas (plantas < 2 años)
			7 personas	2,5 horas (plantas de 4 a 7 años)
	Monolito	• 2 palas, palín • Estacas, rollo cuerda nylon • 2-3 zarandas • 2 recipientes plásticos grandes • 1 balanza con capacidad de 30 kg • 1 balanza con capacidad de 6 kg • Bolsas plásticas y de papel • Marcadores, lápices • Formatos de registro	4 personas	4-6 días (plantas > 14 años)
Biomasa de la vegetación rasante	Muestreo	• Marco de 0,5 m x 0,5 m en pvc • 1 balanza con capacidad de 6 kg • 1 balanza con capacidad de 2.000 g • Bolsas plásticas y de papel • Marcadores, lápices • Formatos de registro	3 personas	2 horas
Biomasa del material muerto	Muestreo madera muerta	• Lonas • 1 balanza con capacidad de 50-80 kg • 1 balanza con capacidad de 6 kg • Bolsas plásticas y de papel • Marcadores, lápices • Formatos de registro	2 personas	2-3 horas (plantas > 4 años con manejo de podas)
			3 personas	4-5 horas (plantas > 15 años sin manejo de podas)

Continúa →

Componente	Actividad	Equipos y herramientas	Personal sugerido	Tiempo empleado
Contenido de carbono en tejido vegetal y carbono orgánico en suelo	Cuantificación en cualquiera de los depósitos	Muestras debidamente identificadas y envío a laboratorio (al menos 300 g de tejido en fresco y 300 g de suelo)	1 persona para entrega	El tiempo en la entrega de resultados y el costo dependerá del laboratorio al que se envíen las muestras

Fuente: Elaboración propia



Capítulo V. Factores de emisión de GEI por datos de actividad y cambio de uso del suelo

Foto: Xiomara Pulido

Estimación de emisiones por prácticas de gestión (datos de actividad)

Emisiones directas e indirectas de óxido nitroso (N_2O) a partir de los aportes de fertilizantes nitrogenados sintéticos y N orgánico

Los lineamientos del IPCC (2019) establecen que las emisiones directas e indirectas de óxido nitroso (N_2O) de los suelos gestionados (agroecosistemas de marañón) se deben evaluar a partir de las ecuaciones genéricas. En caso de no haber monitoreado emisiones de GEI en los cultivos, se utilizará un factor de emisión por defecto. Este procedimiento estima las emisiones de N_2O utilizando las adiciones netas de N en los suelos bajo el cultivo de marañón por diferentes entradas (por ejemplo, fertilizantes minerales de síntesis química u orgánicos, estiércol depositado, residuos de cultivos o lodos de plantas de tratamiento, entre otros), además de la mineralización del N en la MOS después del drenaje/gestión de la MOS o cambio de cultivo/uso de la tierra en suelos minerales (por ejemplo, tierras pastizales desde ganadería convertidas en tierras de cultivo de marañón).

Las emisiones de N_2O provenientes de los aportes de fertilizantes o de la mineralización del N se generan de modo directo (desde los suelos a los que se les agrega el nitrógeno en for-

mas simples o compuestas), pero también por dos vías indirectas: 1) después de la volatilización de amoníaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x) y la posterior redeposición de estos gases y sus productos (NH_4^+ y NO_3^-) en suelos de los agroecosistemas, y en las aguas, y 2) después de la lixiviación y escorrentía del N, especialmente como NO_3^- .

Las emisiones directas de N_2O en los agroecosistemas de marañón se estiman por separado de las emisiones indirectas, aunque utilizando el conjunto común de datos de actividad (aportes de fertilizantes nitrogenados simples o compuestos; en el caso de los compuestos, se debe realizar la evaluación de la entrada de la dosis efectiva agregada a partir del porcentaje de composición de la fórmula comercial utilizada). Las fuentes de N incluidas en la metodología del IPCC (2019) y consideradas para estimar emisiones de N_2O en los suelos de cultivos de marañón en la Orinoquia se listan a continuación y se explican en la ecuación 12.

Nota: para desarrollar este procedimiento, se deben coleccionar los datos de entrada de fertilizantes, sus dosis y formas de aplicación, teniendo en cuenta los porcentajes de aportes de las fórmulas compuestas para la entrada neta de fertilizante nitrogenado.

- a. Fertilizantes nitrogenados sintéticos (F_{SN}).
- b. N orgánico aplicado como fertilizante (por ejemplo, estiércol animal, compost, lodos, residuos de extracción, efluentes de aguas residuales) (F_{ON}). (en este caso es preciso realizar la caracterización en un laboratorio).
- c. N en residuos vegetales (superficiales y subterráneos), por ejemplo, cultivos de servicios (fijadores de N (F_{CR})).
- d. Mineralización de N asociada a la pérdida de MOS como resultado del cambio de uso de suelo o manejo de suelos minerales (F_{SOM}).

$$N_2O - N_{directas} = N_2O - N_{Nentrante} + N_2O - N_{os}$$

(Ecuación 12)

Donde:

$$N_2O - N_{Nentrante} = \left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) * EF_1 \right] + \left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} * EF_{FR} \right]$$

Donde:

$N_2O_{directas}$ = emisiones directas de N_2O -N anuales producidas en los suelos gestionados (cultivos de marañón) (kg N_2O -N año⁻¹)

$N_2O-N_{entrante}$ = emisiones directas de N_2O -N anuales por aportes de N en suelos gestionados de cultivos de marañón (kg N_2O -N año⁻¹)

N_2O-N_{SN} = cantidad anual de fertilizante nitrogenado sintético aplicado a los suelos de cultivos de marañón (kg N año⁻¹)

N_2O-N_{ON} = cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos y otras adiciones de N orgánico, aplicados a los suelos, kg N año⁻¹)

N_2O-N_{CR} = cantidad anual de N en los residuos de cultivos (superficiales y subterráneos), incluidos los cultivos fijadores de N, devueltos a los suelos (kg N año⁻¹)

N_2O-N_{SOM} = cantidad anual de N en suelos minerales que se mineraliza, en asociación con la pérdida de C del suelo de la MOS como resultado de cambios en el uso o gestión del suelo (kg N año⁻¹)

EF = factor de emisión para las emisiones de N_2O de las entradas de N (kg N_2O -N kg de entrada de N)⁻¹ (teniendo en cuenta los factores presentados en la tabla 4).

Tabla 4.
Factores de emisión para estimar emisiones directas de N_2O en suelos de cultivos de marañón

Factor de emisión	Desagregado		
	Desagregación	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
EF para adiciones de N de fertilizantes sintéticos, enmiendas orgánicas y residuos de cultivos y N mineralizado de suelos minerales como resultado de la pérdida de carbono del suelo [kg N_2O-N (kg N) ⁻¹]	Entrada de fertilizantes nitrogenados sintéticos en clima húmedo*	0,016	0,013 - 0,019
	Otras entradas de N en clima húmedo*	0,006	0,001 - 0,011

* Las zonas de producción de marañón en la Orinoquia se consideran de clima húmedo, de acuerdo con su régimen de lluvias.
Fuente: IPCC (2019)

Emisiones de N_2O relacionadas con el N mineralizado a partir de la pérdida de C orgánico en suelos minerales a través de cambios en el uso del suelo o prácticas de gestión

El nitrógeno mineralizado (F_{SOM}) está asociado a la pérdida de reservas de COS en suelos minerales, cuando se dan procesos de cambio de uso de la tierra o prácticas de gestión. Por tanto, el cambio de uso del suelo y una variedad de prácticas de gestión pueden generar impactos significativos en el almacenamiento de COS. El C y el N orgánicos están íntimamente ligados en la MOS y cuando el C se pierde por oxidación como resultado de un cambio o una práctica de gestión del suelo del cultivo de marañón, esta pérdida puede estar acompañada de una mineralización simultánea del N mineralizado

y se considera una fuente adicional de N disponible para la conversión a N_2O , de acuerdo con Smith & Conen (2004). Para cuantificar esta pérdida, se utiliza el factor de emisión predeterminado (EF_1) para el N mineralizado y la pérdida de MOS de las emisiones directas resultantes de los aportes de fertilizantes y N orgánico a los suelos agrícolas.

De acuerdo con el IPCC (2019), los pasos para estimar estos cambios son los siguientes.

1. Calcular la pérdida anual promedio de C del suelo ($\Delta C_{Mineral, LU}$) para la zona de producción de marañón, durante el periodo del inventario mediante la ecuación 13.
2. Estimar el N mineralizado como consecuencia de esta pérdida de C del suelo (F_{SOM}).

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{COS_0 - COS_{0-T}}{D}$$

$$COS_{Mineral} = \sum_{c,s,i} COS_{REF_{c,s,i}} * F_{LU_{c,s,i}} * F_{MG_{c,s,i}} * F_{I_{c,s,i}} * A_{c,s,i}$$

(Ecuación 13)

Donde:

$\Delta C_{Mineral}$ = cambio anual en existencias de C orgánico en suelos minerales (tC año⁻¹)

COS_0 = existencias de C orgánico en suelos minerales ($COS_{Mineral}$) en el último año de un periodo de inventario (tC)

COS_{0-T} = existencias de C orgánico del suelo mineral ($COS_{Mineral}$) al comienzo del periodo de inventario (tC)

T = número de años del periodo de inventario (años)

D = dependencia temporal de los factores de cambio de existencias de C orgánico del suelo mineral (periodo predeterminado para la transición entre los valores de COS de equilibrio (año). Comúnmente 20 años, pero depende de las suposiciones realizadas al calcular los factores F_{LU} , F_{MG} y F_I

Nota: si T supera a D , se utiliza el valor de T para obtener una tasa de cambio anual durante el periodo de inventario (0-T años).

c = zonas climáticas incluidas en el inventario

s = tipos de suelo incluidos en el inventario

i = conjunto de sistemas de gestión incluidos en el inventario

$COS_{Mineral}$ = reserva total de C orgánico del suelo mineral en el momento definido (tC)

$COS_{REF_{c,s,i}}$ = existencias de COS para suelos minerales en la condición de referencia (tC ha⁻¹) (usar la tabla 5 para valores por defecto del IPCC y la tabla 1 que son los valores de muestreo en campo)

$F_{LU_{c,s,i}}$ = factor de cambio de existencias de COS para los sistemas o subsistemas de uso del suelo mineral en el cultivo de marañón (adimensional)

$F_{MG_{c,s,i}}$ = factor de cambio de existencias para el C orgánico del suelo mineral para el régimen de gestión (adimensional)

$F_{I_{c,s,i}}$ = factor de cambio de existencias para el C orgánico de suelo mineral para la entrada de enmiendas orgánicas (adimensional)

$A_{c,s,i}$ = área de terreno (ha)

Nota: es necesario tener en cuenta que, para llevar a cabo estas estimaciones, toda el área del agroecosistema debe tener condiciones biofísicas comunes (es decir, clima y tipo de suelo) e historial de gestión durante el periodo de inventario.

Tabla 5.
Condición de referencia por defecto de reservas de COS (COS_{REF}) para suelos minerales (tC ha⁻¹ en la profundidad de 0-30 cm) (IPCC, 2019)

IPCC zona climática	IPCC clases de suelos
Tropical húmeda	Suelos arenosos
	46 ± 20 %*

* Tener en cuenta los datos de medición directa en suelos de referencia para agroecosistemas de marañón en la tabla 1 o las estimaciones a partir de los datos del estudio de suelos.

Emisiones indirectas de N₂O en suelos gestionados de agroecosistemas de marañón

Las emisiones indirectas de N₂O en suelos de cultivos de marañón provienen de la volatilización/deposición y la lixiviación de nitrógeno. De acuerdo con el IPCC (2019), la primera de estas vías es la volatilización de N como amoníaco (NH₃) y óxidos de nitrógeno (NO_x), y la posterior deposición de estos gases y sus productos: amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻) en la superficie de suelo y agua. Las fuentes de N como NH₃ y NO_x incluyen las relacionadas con las estradas de abonos orgánicos y fertilizantes de síntesis química en el cultivo de marañón. Para el caso de la estimación de

emisiones indirectas en los agroecosistemas de marañón, se tendrán en cuenta las resultantes del aporte de abonos orgánicos, fertilizantes nitrogenados de síntesis química y el uso de combustibles fósiles en la maquinaria utilizada, ya que las quemas no son admitidas en estos sistemas.

Las estimaciones se deben realizar a partir de la ecuación 14, definida en los lineamientos del IPCC (2019). Mediante este proceso, se estiman las emisiones de N₂O procedentes de la deposición atmosférica de N volatilizado en suelos gestionados de cultivos de marañón, teniendo en cuenta las formas de nitrógeno aportadas en el sistema, así mismo, las reducciones en estos insumos.

$$N_2O - N_{(ATD)} = \left[(F_{SN} * Frac_{GASF}) + ((F_{ON}) * Frac_{GASM}) \right] * EF$$

(Ecuación 14)

Donde:

$N_2O - N_{(ATD)}$ = cantidad anual de N₂O-N producido por deposición atmosférica de N volatilizado en suelos gestionados del cultivo de marañón (kg N₂O-N año⁻¹)

F_{SN} = cantidad anual de fertilizante nitrogenado sintético aplicado en los suelos del cultivo de marañón (kg N₂O-N año⁻¹)

$Frac_{GASF}$ = fracción de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH_3 y NO_x en suelos gestionados bajo el cultivo de marañón (kg N volatilizado kg N aplicado⁻¹) (tabla 6)

F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos y otros aportes de materiales de N orgánico aplicado a los suelos gestionados del cultivo de marañón (kg N año⁻¹)

$FRAC_{GASM}$ = fracción de materiales fertilizantes de N orgánico aplicado (F_{ON}) que se volatiliza como NH_3 y NO_x (kg N volatilizado kg de N aplicado o depositado⁻¹) (tabla 6)

EF = factor de emisión para N_2O procedente de la deposición atmosférica de N en suelos y superficies acuáticas (kg N- N_2O (kg NH_3 -N + NO_x -N volatilizado⁻¹) (tabla 6)

La conversión de las emisiones de N_2O en emisiones de $N_2O-N_{(ATD)}$ efectos de información, se realiza utilizando la ecuación 15.

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N * 44/28$$

(Ecuación 15)

Los aportes de emisiones de N_2O indirectas por lixiviación y escorrentía de N procedente de entradas de nitrógeno de fertilizantes sintéticos, abonos orgánicos, residuos de cultivos, mineralización de N asociada a la pérdida de C de suelos minerales (caso de la Orinoquia), drenados/gestionados a través de cambios de uso del suelo o prácticas de gestión se realiza mediante la ecuación 16. Para los suelos

gestionados del cultivo de marañón, este aspecto es importante porque el N orgánico en o sobre el suelo, especialmente en forma de nitrato (NO_3^-), puede ser *fácilmente* movilizado en el suelo, bien sea por el flujo de agua superficial (escorrentía) o por medio del flujo de los macroporos del perfil del suelo (lixiviación), especialmente en condiciones de suelos arenosos de la Orinoquia.

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) * Frac_{Lixiv-(H)} * EF$$

(Ecuación 16)

Donde: $N_{2O(L)}-N$ = cantidad anual de N_2O-N producida de manera indirecta y relacionada con los procesos de lixiviación y escorrentía a partir de adiciones de N de suelos gestionados de los cultivos de marañón ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$)

F_{SN} = cantidad anual de N de fertilizantes sintéticos aplicada en suelos gestionados de los cultivos de marañón ($kg\ N\ año^{-1}$)

F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos y otras adiciones de N orgánico, aplicadas al suelo gestionado de los cultivos de marañón ($kg\ N\ año^{-1}$)

F_{CR} = cantidad de N proveniente de residuos de cultivos (aéreos y subterráneos), incluidos los cultivos de servicios (fijadores de N y de cobertura, devuelto a los suelos) ($kg\ N\ año^{-1}$)

F_{SOM} = cantidad anual de N mineralizado en suelos minerales asociada a la pérdida de C del suelo debido a cambios en el uso o gestión del suelo de cultivos de marañón ($kg\ N\ año^{-1}$) (ecuación 13)

$FRAC_{LIXIV-(H)}$ = fracción de N adicionado/mineralizado en el suelo y perdido por lixiviación y escorrentía ($kg\ N\ kg\ de\ N\ adicionado^{-1}$) (tabla 6)

EF = factor de emisión de N_2O por lixiviación y escorrentía de N adicionado, $kg\ N_2O-N\ (kg\ N\ lixivado\ y\ escorrentía)^{-1}$ (tabla 6)

Tabla 6.
Factores de emisión, volatilización y lixiviación por defecto para emisiones indirectas de N_2O de suelos

Factor de emisión	Agregado		Desagregado		
	Valor por defecto	Rango de incertidumbre	Desagregación	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
EF [volatilización y redeposición de N], $kg\ N_2O-N\ (kg\ NH_3-N + NO_x-N\ volatilizado)^{-1}$	-	-	Clima húmedo	0,014	0,011 - 0,017
EF [lixiviación/escorrentía], $kg\ N_2O-N\ (kg\ N\ lixivación/escorrentía)^{-1}$	0,011	0,000 - 0,020	-	-	-

Continúa →

Factor de emisión	Agregado		Desagregado		
	Valor por defecto	Rango de incertidumbre	Desagregación	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
Frac _{GASF} [volatilización a partir de fertilizante sintético], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N aplicado) ⁻¹	-	-	Urea	0,15	0,03 - 0,43
			N-fertilizante amoniacal	0,08	0,02 - 0,30
			N-fertilizante nítrico	0,01	0,00 - 0,02
			N-fertilizante amoniacal-nítrico	0,05	0,00 - 0,20
Frac _{LEACH-(H)} [pérdidas de N por lixiviación/escorrentía en climas húmedos], kg N (kg de adición o deposición de N por animales de pastoreo ⁻¹)	0,24	0,01 - 0,73	-	-	-

Nota: se deben determinar las emisiones en C-CO₂ eq mediante los potenciales de calentamiento global reportados en la AR6 del IPCC (N₂O = 273) en un horizonte de 100 años (IPCC, 2021) y, posteriormente, a través de la relación entre el peso molecular de CO₂. Fuente: IPCC (2019)

Emisiones de CO₂ por aplicación de cal en suelos gestionados de agroecosistemas de marañón

Los suelos de los agroecosistemas de marañón en la Orinoquia, generalmente, presentan aplicaciones de cal. De acuerdo con el IPCC (2006), la adición de carbonatos a los suelos en forma de cal, por ejemplo, piedra caliza cálcica (CaCO₃) o cal dolomita (CaMg(CO₃)₂), genera emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Cuando la cal se disuelve y se libera bicarbonato (HCO₃⁻), este se convierte en CO₂ y agua (H₂O). Por esta razón, es importante estimar sus emisiones e incluirlas en los inventarios. Este procedimiento se hace siguiendo los parámetros de la ecuación 17 propuesta por el IPCC (2006).

El proceso de estimación de las emisiones de CO₂ por aportes de carbonatos en forma de cal parte de determinar la cantidad total (M) de carbonato que contiene la cal aplicada al suelo gestionado del cultivo de marañón en los años del inventario. En la colecta de datos de actividad se deben diferenciar las entradas de caliza cálcica y cal dolomita. Además de tener información de la cantidad de cal aplicada, se consideran las especificaciones de la clase de cal utilizada (pureza), así como las características hidrológicas de los agroecosistemas de marañón en donde se estén estimando las emisiones y, de esta manera, determinar la proporción de carbonato-C en las aplicaciones de cal que se emiten a la atmósfera.

$$\text{Emisión de CO}_2 - C = (M_{\text{caliza cálcica}} * EF_{\text{caliza cálcica}}) + (M_{\text{cal dolomita}} * EF_{\text{cal dolomita}})$$

(Ecuación 17)

Donde:

Emisión de CO₂-C = emisiones anuales C-CO₂ por la aplicación de cal en suelos gestionados bajo cultivo de marañón (tC año⁻¹)

M = cantidad anual de caliza cálcica (CaCO₃) o cal dolomita (CaMg(CO₃)₂) aplicada a los suelos gestionados bajo cultivo de marañón (t año⁻¹)

EF = factor de emisión (tC-CO₂ tonelada de carbonato de calcio o cal dolomita)⁻¹ (tabla 7)

Tabla 7.
Factores de emisión para carbonato de calcio y cal dolomita

Factor de emisión	Caliza cálcica (CaCO ₃)	Cal dolomita (CaMg(CO ₃) ₂)
	0,12	0,13

Nota: tener en cuenta que la conversión de CO₂-C a CO₂ se realiza mediante la relación entre el peso molecular de CO₂ y C 44/12.
Fuente: IPCC (2006)

Emisiones de CO₂ por fertilización con urea en suelos gestionados de agroecosistemas de marañón

El proceso de producción industrial de la urea (CO(NH₂)₂) fija CO₂ y este GEI puede perderse en la posterior aplicación del producto en los suelos gestionados de cultivos de marañón. Una vez aplicada en los suelos, la urea se convierte en amonio (NH₄⁺), ion hidroxilo (OH⁻) y bicarbonato (HCO₃⁻) cuando hay presencia de agua y enzima ureasa. Esta reacción es similar a lo ocurrido en el suelo después de la adición de cal: el bicarbonato que se forma se convierte en CO₂ y agua.

Los pasos para estimar la emisión de CO₂ por aplicación de urea son los siguientes:

1. Contabilizar la aplicación de urea por hectárea en el suelo del cultivo de marañón.
2. Estimar las emisiones mediante la ecuación 18, aplicando el factor de emisión de la tabla 8.

Nota: es posible ajustar y escalar las emisiones de CO₂ por aplicación de urea, al incluir las características hidrológicas de los agroecosistemas de marañón en donde se estén estimado las emisiones.

$$\text{Emisiones de CO}_2 - C = M * EF$$

(Ecuación 18)

Donde:

Emisiones de CO₂-C = emisión anual de CO₂-C por aplicación de urea en suelos gestionados de cultivos de marañón (t C año⁻¹)

M = cantidad anual de urea aplicada por hectárea (t urea año⁻¹)

EF = factor de emisión (tC (t urea)⁻¹)

Tabla 8.
Factor de emisión de CO₂-C para urea

Factor de emisión	Urea	Equivalente al contenido de carbono de la urea en peso atómico (20 % para CO(NH ₂) ₂). Aplicar una incertidumbre predeterminada del -50 %
	0,20	

Nota: tener en cuenta que la conversión de CO₂-C a CO₂ se realiza mediante la relación entre el peso molecular de CO₂ y C 44/12.
Fuente: IPCC (2006)

Emisiones de GEI asociadas a otras prácticas de gestión (no consideradas AFOLU) en agroecosistemas de marañón

Las prácticas de gestión en agroecosistemas de marañón no comprendidas en los inventarios de emisiones AFOLU están asociadas al uso de fertilizantes no nitrogenados, agroquímicos para el control de plagas y enfermedades (plaguicidas, fungicidas y bactericidas) o herbicidas para el manejo de arvenses. Así mismo, a los productos de origen botánico para fines de control de plagas, a los combustibles y a la maquinaria para las acciones propias de gestión del cultivo. Las emisiones de estas actividades que no están contempladas en el sector AFOLU, y las AFOLU, pueden ser calculadas o estimadas a través de un enfoque de análisis de ciclo de vida (ACV). De acuerdo con la

Norma Técnica Colombiana para la “Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia” ISO 14040:2022, el ACV es una herramienta de direccionamiento ambiental que considera el ciclo de vida completo de un producto desde la extracción de la materia prima, pasando por la producción de energía y materia, la fabricación, hasta el uso, tratamiento y disposición final. A través de esta herramienta sistémica, es posible identificar y prevenir o mejorar el desplazamiento de una carga ambiental potencial entre las etapas del ciclo de vida o los procesos unitarios del sistema, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero.

El procedimiento para calcular las emisiones de GEI asociadas a un área de producción de marañón o la masa de productos, coproductos y subproductos

de los agroecosistemas de marañón debe tener en cuenta los pasos descritos a continuación y resumidos en la figura 13.

1. Definir el objetivo y el alcance del estudio. El objetivo para esta guía puede ser definido como la determinación de las emisiones directas e indirectas de GEI asociadas a los agroecosistemas de marañón, y su alcance (espacial y temporal) incluye la definición de la unidad funcional (a la cual se le cargarán las emisiones de GEI), los procedimientos de asignación, las suposiciones y las limitaciones. Por ejemplo, en cuanto a los límites debe considerar: a) un enfoque de la cuna a la puerta, es decir, desde la extracción de materias primas hasta la entrega de la nuez de marañón y otros productos a la planta de procesamiento; b) un enfoque de la cuna hasta la puerta del próximo negocio, que incluye la fase de producción agrícola y el procesamiento de productos, coproductos y subproductos de los agroecosistemas de marañón, realizando una asignación económica o de masa para este propósito; c) un enfoque de la cuna a la tumba, considerando la fase final de disposición de residuos orgánicos e inorgánicos de los productos, coproductos y subproductos del sistema, y d) la temporalidad debe tener en cuenta al menos hasta el inicio del ciclo de producción del agroecosistema (4 años).

2. Recopilar los datos para el análisis del inventario. Para este propósito, elabore un formulario que le permita coleccionar los datos de cada proceso unitario, incluyendo: entradas de energía, de materia prima, entradas auxiliares, otras entradas físicas, los productos, coproductos, subproductos y residuos. En este proceso puede incluir los bienes de capital (por ejemplo, infraestructura, maquinaria y equipos), teniendo en cuenta la vida útil relacionada con la UF (kg de nuez, de almendra de marañón, de pulpa y otros) o la hectárea y su productividad. Además, incluya los datos de actividad relacionados con fertilizantes no nitrogenados, agroquímicos (plaguicidas, fungicidas, bactericidas y herbicidas) y otros productos en la gestión del agroecosistema de marañón.

Nota: los factores de emisión para estimar las emisiones relacionadas con el uso y gestión de entradas de materia pueden ser buscados a través de artículos científicos o mediante el acceso a la base de datos Ecoinvent® v3.9.1. Por su parte, los datos de referencia de energía, combustibles y biocombustibles pueden ser consultados a través de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME - <https://www1.upme.gov.co/>) de Colombia. En la evaluación de impacto considere la categoría de puntos medios “Calentamiento Global”.

3. Evaluar el impacto para la categoría “Calentamiento Global”, en la cual se relacionan los datos de inventario o

datos de entrada y salida con el impacto potencial sobre esta categoría y sus indicadores. De acuerdo con el modelo de caracterización, se asignan los resultados a la categoría (clasificación) y se calcula el resultado del indicador de categoría (caracterización).

4. Interpretar los resultados de la clasificación. A partir de este análisis puede determinar los puntos críticos de mayor emisión o los procesos unitarios de mayor carga ambiental en cuanto a emisiones de GEI, a fin de definir procesos de mejora en la gestión del agroecosistema de marañón para un proceso de mejoramiento continuo (interpretación).

Nota: se deben determinar las emisiones en C-CO₂ eq mediante los potenciales de calentamiento global reportados en la AR6 del IPCC (CO₂ = 1, CH₄ = 27 y N₂O = 273 en un horizonte de 100 años (IPCC, 2021) y, posteriormente, a través de la relación entre el peso molecular de CO₂.

Este análisis permitirá incluir las estimaciones de emisiones directas e indirectas de GEI asociadas a los productos, coproductos, subproductos o residuos de los agroecosistemas de marañón y su cadena de suministro. Además, llevar una contabilidad de las emisiones año a año, y determinar acciones para su mitigación, reducción o captura.

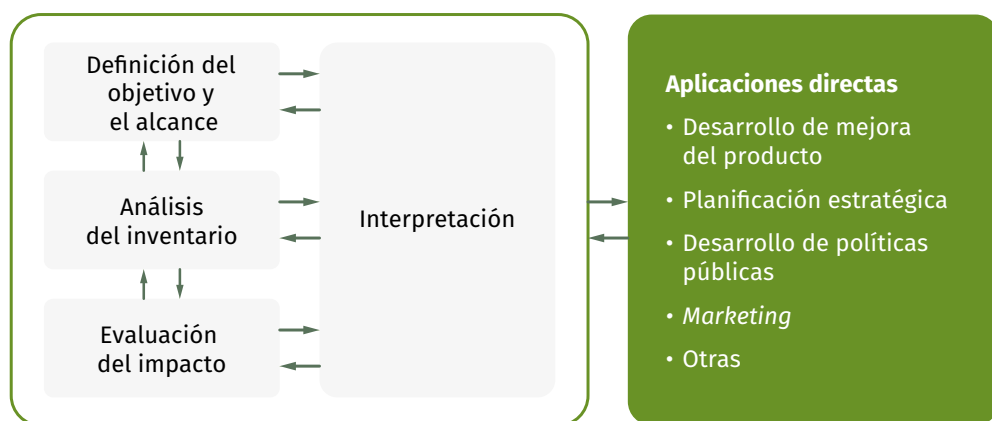


Figura 13.

Fases del análisis de ciclo de vida para la estimación de emisiones de GEI (categoría calentamiento global) no consideradas en AFOLU de agroecosistemas de marañón.

Fuente: Elaboración propia



Capítulo VI. Balance/dinámica de carbono en el sistema productivo de marañón

Foto: Hugo Gil

Relación entre captura, reducción y emisiones de GEI

Este análisis parte de realizar los eco-balances en los agroecosistemas de marañón. El procedimiento implica los siguientes pasos:

1. Determinar la relación entre los datos de actividad con respecto a las emisiones de GEI (a partir de los factores de emisión utilizados bajo los lineamientos del IPCC (2006, 2019)) o factores de emisión reportados en artículos científicos o mediante el acceso a bases de datos como Ecoinvent® para el caso de emisiones no AFOLU.
2. Desarrollar una sumatoria del stock de carbono en los suelos de los agroecosistemas de marañón (0 a 30 cm o a mayor profundidad), en la biomasa aérea y subterránea, llevada a CO_2 .
3. Determinar el balance/dinámica de carbono mediante la relación entre la captura de C, las remociones y las emisiones de GEI en el agroecosistema de marañón.
4. Considerar las acciones de mejoramiento continuo, ya que un agroecosistema de marañón bajo en carbono involucra acciones desde la ecoeficiencia (figura 14).

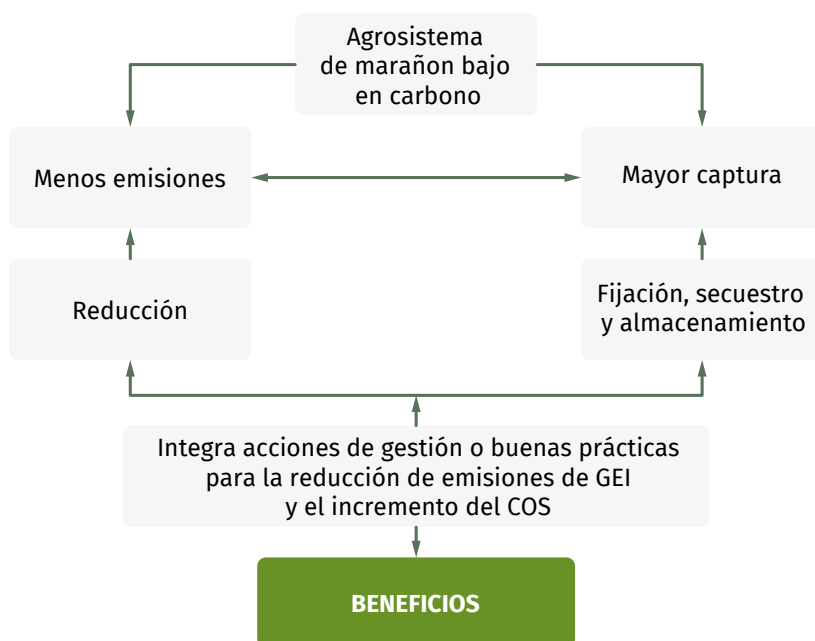


Figura 14.

Esquema de integración de acciones para la construcción de agroecosistemas de marañón bajo en carbono.

Fuente: Elaboración propia

Agradecimientos

El equipo de trabajo (AGROSAVIA-WCS) agradece a los productores de marañón, técnicos y representantes de la institucionalidad en el territorio que acompañaron el desarrollo de esta consultoría,

por su tiempo, conocimientos, disposición e interés en consolidar una cadena de marañón baja en carbono que contribuya a la generación de paisajes sostenibles.

Referencias

- Ashiagbor, G., Asare-Ansah, A. O., Laari, P. B., & Asante, W. A. (2022). Cashew expansion holds potential for carbon stocks enhancement in the forest-savannah transitional zone of Ghana. *Land Use Policy*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106318>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Vichada: Escala 1:100.000*.
- IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- IPCC. (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Vol. 4). Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- Mathew, M. M., Majule, A. E., Sinclair, F., & Marchant, R. (2016). Relationships between on-farm tree stocks and soil organic carbon along an altitudinal gradient, Mount Kilimanjaro, Tanzania. *Forests Trees and Livelihoods*, 25(4), 255-266. <https://doi.org/10.1080/14728028.2016.1202790>
- Smith, K. A., & Conen, F. (2004). Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use and Management*, 20(2), 255-263. <https://doi.org/10.1079/sum2004238>
- Zhang, Z., Huang, W., Zhao, L., Xiao, L., & Huang, H. (2024). Integrated metabolome and transcriptome reveal the mechanism of the flower coloration in cashew *Anacardium occidentale*. *Scientia Horticulturae*, 324. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112617>

Autores

Carmen Alicia Parrado Moreno

caparrado@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2013-8491>

Ecóloga de la Pontificia Universidad Javeriana, magíster en Gestión y Conservación de Recursos Naturales y doctora en Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia. En la actualidad es investigadora PhD en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde se dedica desde 2021 al análisis ambiental y de sostenibilidad en sistemas agrícolas. Su trabajo se enfoca en la generación y aplicación de herramientas e indicadores que permitan determinar las relaciones entre el desempeño ambiental y productivo para la transformación e innovación orientada a la sostenibilidad. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas en temas relacionados con el análisis ambiental e indicadores de sostenibilidad en sistemas agroindustriales.

Diana Mayerly Mateus Cagua

dmateus@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7876-5343>

Ingeniera agrónoma y magíster en Ciencias Agrarias en la línea de investigación en Fisiología de Cultivos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Tiene experiencia en la formulación y ejecución de proyectos de investigación en frutales. Sus áreas de trabajo incluyen evaluación de alternativas para la gestión integrada de sistemas productivos, efecto de factores bióticos y abióticos sobre la fisiología de las plantas y ecofisiología de cultivos. Actualmente es investigadora del Centro de Investigación La Libertad de AGROSAVIA.

Sandra Xiomara Pulido Castro

spulido@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5792-7136>

Ingeniera agrónoma y magíster en Sistemas de Producción Agrícola. Posee amplia experiencia en la planificación, diseño e implementación de proyectos de transferencia de tecnología agropecuaria, gestión de conocimiento y de apropiación social del conocimiento; en procesos de capacitación; formulación y ejecución de proyectos de desarrollo tecnológico, organización comunitaria y procesos pedagógicos/

educativos. Ha liderado y participado en procesos de coordinación en programas que soportan la asistencia y servicios de extensión agrícola, así como en el fortalecimiento de la relación entre productores, investigadores y proveedores de servicios en extensión agrícola en procura de la innovación agropecuaria. Actualmente es asesora sénior de la Sede Central de AGROSAVIA.

Andrés Javier Peña Quiñones

apena@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3564-401X>

Ingeniero agrónomo y magíster en Meteorología de la Universidad Nacional de Colombia, y doctor en Ingeniería Agrícola y Biológica de la Universidad del Estado de Washington. En la actualidad es investigador PhD asociado en AGROSAVIA, donde se dedica desde 2020 al estudio de la climatología y agroclimatología de zonas ecuatoriales. Su trabajo se enfoca en el desarrollo de herramientas para apoyar la toma de decisión con base en el análisis de riesgo. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas sobre temas relacionados con climatología, meteorología agrícola y micrometeorología.

Jaime Humberto Bernal Riobo

jhbernal@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8738-1365>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, magíster en Agronomía con énfasis en Nutrición de Plantas de la Universidad de Nebraska-Lincoln y doctor en Ciencias Agrarias con énfasis en Ecofisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Fue presidente de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (2011-2013, 2017-2020), dirige el grupo Agricultura de Conservación para Suelos de Trópico Bajo y es investigador asociado de Min-ciencias. En la actualidad es investigador PhD de AGROSAVIA, donde se dedica desde 1994 al estudio de la ecofisiología de cultivos y la nutrición de plantas en zonas ecuatoriales. Su trabajo se enfoca en el desarrollo de estrategias para la gestión integral en suelos ácidos, fertilidad y nutrición de plantas, modelamiento de cultivos, agricultura de conservación, servicios ecosistémicos, estrategias de gestión de sistemas de producción sostenible de cultivos para la Orinoquia y en la integración de herramientas en agricultura de precisión para una gestión eficiente de los sistemas de producción con menor impacto ambiental.



Los agroecosistemas de marañón se consideran sistemas productivos estratégicos para el desarrollo agrícola de la altillanura en la Orinoquia colombiana. Este sistema se caracteriza por sus potenciales bajas emisiones de GEI e incrementos en la acumulación en las reservas de carbono, lo cual incrementa su interés en modelos de negocios basados en servicios ecosistémicos como los mercados de carbono. No obstante, es necesario evaluar estas potencialidades en la región. De acuerdo con lo anterior, la presente guía de campo tiene como objetivo brindar los lineamientos para la cuantificación de biomasa área y subterránea, el almacenamiento del carbono en suelos de agroecosistemas de marañón y su papel en estrategias de mitigación del cambio climático. Con base en estas actividades, es posible determinar de manera más certera y equitativa el acceso a diferentes incentivos financieros y no financieros por parte de los productores en el territorio.