

Protocolo para

La estimación y el monitoreo del carbono

en coberturas forestales y
no forestales de Colombia



Protocolo para

La estimación y el monitoreo del carbono

en coberturas forestales y
no forestales de Colombia



Protocolo para la estimación y el monitoreo del carbono en coberturas forestales y no forestales de Colombia

Proyecto Agroforestería para la Conservación

AUTORES

The Nature Conservancy

Diego Navarrete

María Fernanda Ordóñez Castro

The Amazon Conservation Team Colombia

Juan David Turriago

Juan Fernando Phillips

Nelson Salinas

The Amazon Conservation Team Colombia

María Patricia Navarrete

Libardo Chanchy

Edgar Nuñez

Santiago Palacios

Wilmer Silva

Fundación Proterra

Fabio Andrés Zabala

Instituto Amazónico de

Investigaciones Científicas SINCHI

Instituto de Hidrología, Meteorología

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

.Puntoaparte Bookvertising

Dirección de arte

Diego Cobos

Diseño y diagramación

Angélica Villate

Ilustración

Diego Cobos

Corrección de estilo

Alejandra Posso

ISBN: 978-958-52666-4-3

This Project is part of the International Climate Initiative (IKI). The German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety (BMU) supports this initiative on the basis of a decision adopted by the German Bundestag.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos y otros fines comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor. Siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

Cita de la obra:

The Nature Conservancy, Amazon Conservation Team. Protocolo para la estimación y el monitoreo del carbono en coberturas forestales y no forestales de Colombia. 2019. Colombia

No comercializable - Distribución gratuita

COLABORADORES

The Nature Conservancy

América Astrid Melo Velandía

Carlos Pedraza

Deissy Arango

Diego Lizcano

Jorge Velázquez Tibatá

Juan Sebastián Sánchez

Juliana Delgado

IDEAM

Estudios Ambientales IDEAM

Adriana Barbosa

“Agroforestería para la conservación” “es un proyecto implementado por The Nature Conservancy (TNC) y The Amazon Conservation Team Colombia (ACT), financiado por la Iniciativa Internacional del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Ambiente de Alemania, que tiene como objetivo la implementación de sistemas agroforestales sostenibles como una estrategia para reducir la deforestación, contribuir a la restauración y conectividad de los bosques, mejorar la conservación de la biodiversidad y mitigar el cambio climático.

La implementación del proyecto con comunidades campesinas e indígenas del piedemonte

y la planicie amazónica del Caquetá, ha generado valiosas lecciones aprendidas para lograr una agroforestería sostenible en la región.

Estos aprendizajes han sido compilados en una “Caja de herramientas de la Agroforestería para la Conservación”, diseñada especialmente para las instituciones locales, técnicos agropecuarios, productores y comunidades. Esperamos que sea un instrumento que les permita fortalecer sus capacidades para planear, implementar y monitorear sistemas agroforestales, contribuyendo a la consolidación de un paisaje amazónico sostenible.

María Fernanda Ordóñez Castro
The Nature Conservancy

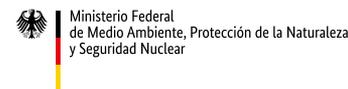
María Patricia Navarrete Serna
The Amazon Conservation Team



Implementado por:



Fomentado por el:



en virtud de una resolución del Parlamento de la República Federal de Alemania

Colaboradores de
las veredas de los
municipios de **Belén**
de los Andaquíes,
San José del
Fragua y Cartagena
del Chairá, en
el proyecto
Agroforestería para
la Conservación

Abel Plazas

Albeiro Cañón

Alfonso Yucama

Alfonso Poveda

Alfredo Briñez

Alirio Celis

Alirio Sánchez

Alirio Guzmán

Álvaro Cantillo

Álvaro Quintero

Andrés Cuartas

Andrés Gutiérrez

Arbey Peralta

Arcesio Cali

Armando Polanía

Armando Calderón

Arnulfo Sánchez

Baudilio Endo

Blanca Luz Martínez

Carlos Julio García

Carlos Augusto Quintana

Carlos Antonio Hernández

Carlos Gallego

Carmelina Yunda

Daiber Quintero

Dimas Gil

Diocelina Pajoy

Dora Luz Enciso

Duberney Prado

Edgar Lombana

Edinson Ome

Edusmildo Ríos

Enrique Antonio Daza

Erika Andrea Cardona

Erley Silva

Hermila Cantillo

Espedito Plazas

Fabio Campiño

Félix Lozano

Fermín Briñez

Fernando Ortiz

Fernando Espinel

Ferney Oyola

Francisco Espinoza

Fredy Moreno

Gamaliel Gaviria

Gerardo Oviedo

Germán Rico

Gilma Hoyos

Gladys Loaiza

Gonzalo Gómez

Graciela Araos

Gregorio Rodríguez

Gustavo Torres

Hebert Serrezuela

Heber Jairo Hermida

Helid Lugo

Henry Plazas

Herminso Gómez

Horacio Calderón

Huber Yucuma

Idelín Alberto Pulido

Ismaelina Cometa

Israel Castillo

Jorge Martín Ramada

José Hernando Lugo

Juan de Jesús Sanabria

Luis Enrique Lozano

Luis Antonio Antury

Luis Jiménez

Manuel Díaz

Marcos Londoño

María Alisneila Pérez

María Jiménez

María Nidia Salazar

Maricel Idrobo

Miguel Ángel Cantillo

Milson Rojas

Nataly García

Nelson Cano

Nelson Osorio

Néstor Albeiro Palomo

Nubia Perdomo

Nury Cenaida Muñoz

Ofelia Vargas

Ofelia Soto

Olga Yamile Valbuena

Omar Ortiz

Orlando Silva

Ovidio Enciso

Pedro Piamba

Pedro Calderón

Rafael Calderón

Regelio Ortiz

Reymundo Cerquera

Ricardo Valenzuela

Riquelmo Celis

Roberto Vega

Rosalba Soto

Rubén Mosquera

Rubiela Huaca

Rubiela Vega

Salvador Mancera

Uldarico Cruz

Uriel Cuartas

Wenceslado Prada

William Narváez

Yeison Ramírez

Yonatan Ocampo

Colaboradores de
las **comunidades
indígenas** en
el proyecto
Agroforestería para
la conservación

**CABILDO MAYOR
ASOCIACIÓN TANDACHIRIDU
INGANOKUNA**

Carlos Enrique Cortés Jamioy
Gobernador Mayor

Faber Huaca Muñoz
Alcalde Mayor

Jair Salazar Jacanamejoy
Alguacil Mayor

Jhony Ferney Huaca Muñoz
Coordinador Plan de Vida

TAITAS ACOMPAÑANTES

José Alfredo Mojombuy Jojoa
Paulino Chindoy Yanagona

RESGUARDO YURAYACO

Dioselina Penagos
Gobernadora

Flora Maca
Rectora y Participante

Azael Delgado
**Anciano Consejero y
Participante**

María Eudocia Jacanamejoy
**Anciana Consejera y
Participante**

Natividad Mutumbajoy
**Anciana Consejera y
Participante**

Brigida Jacanamejoy
Anciana Consejera y Participante

Evirley Mutumbajoy
Docente y Participante

RESGUARDO BRISAS

Asael Burgos Jacanamejoy
Gobernador

Genny Lorena Muchavisoy
Alcaldesa

Paola Andrea Becerra
Alguacila Mayor

Jhon Arbey Jacanamejoy
Alguacil Menor

Gonzalo Buesaquillo
Anciano Consejero

Eugenia Jacanamejoy
Participante

Laureano Jacanamejoy
Docente y Participante

Diana Buesaquillo
Participante

Francisco Buesaquillo
Participante

Eugenia Jacanamejoy
Participante

Angélica Burgos
Participante

Mamerto Chindoy

Participante

RESGUARDO SAN MIGUEL

Sonia Rocio Burgos

Mutumbajoy

Gobernadora (2020)

María Antonia Mutumbajoy

**Anciana Consejera y
gobernadora (2019)**

María Ermila Huaca

Alcaldesa

Willian Ortiz Muchavisoy

Alguacil

Isabel Jacanamejoy

Participante

Ricardo Hoyos

Anciano Consejero

Alfonso Mutumbaaajoy

Anciano Consejero

Alvaro Mutumbajoy

Anciano Consejero

Carlos Diaz Cenon

Participante

Hernán Jacanamejoy

Participante

Fabian Ortiz

Participante

Reinerio Huaca

Participante

Willian Ortiz

Participante

Luis Arturo Huaca

Participante

Gustavo Obregon

Participante

Arley Diaz

Participante

James Martus

Participante

Ever Acero

Participante

Esneider Delgado

Participante

RESGUARDO NIÑERAS

Eliberto Camacho

Gobernador (2020)

Fanny Jael Jamioy

Gobernadora (2019)

José Orjuela

Alcalde

Luis Alejandro Garcés

Alguacil

Manuel Yanagona

Secretario y Participante

Camilo Camacho

Participante

María Fenith Garces

Participante

Blanca Parra Chindoy

Participante

Everardo Rentería

Participante

Carlos Eduardo Yela

Participante

Olga Lucía Jamioy

Participante

Bernarda Becerra

Participante

Jhon Fredy Garcés

Docente y participante

RESGUARDO CUZUMBE

AGUA BLANCA

Edwar Fabian Leyton

Gobernador y Participante

Diana Gutiérrez Becerra

Alcaldesa

Herminia López

Anciana Consejera y

Participante

Luz Emérita Becerra

Docente y Participante

Antonio Yanagona

Participante

Edwar Fabian Yanagona

Participante

Sebastián Rueda

Participante

Capítulo 01

pág.

11 Alcance del protocolo

13 Estructura del documento

16 | **Procedimiento 1**
Diseño de las parcelas para categorías con arreglos no lineales

22 | **Procedimiento 2**
Corrección de la distancia por la pendiente

26 | **Procedimiento 3**
Medición de la biomasa aérea de fustales

30 | **Procedimiento 4**
Medición de la biomasa aérea de latizales

34 | **Procedimiento 5**
Medición de herbáceas

Capítulo 02

pág.

36

Procedimiento 6

Colección de muestras de suelos

40

Procedimiento 7

Medición de madera muerta caída

44

Procedimiento 8

Medición de madera muerta en pie

48

Procedimiento 9

Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea

52

Procedimiento 10

Estimación del carbono almacenado en el suelo

54

Procedimiento 11

Estimación de la densidad de la madera de árboles vivos y muertos

56

Procedimiento 12

Estimación del carbono almacenado en la madera muerta

58

Referencias

Alcance del protocolo

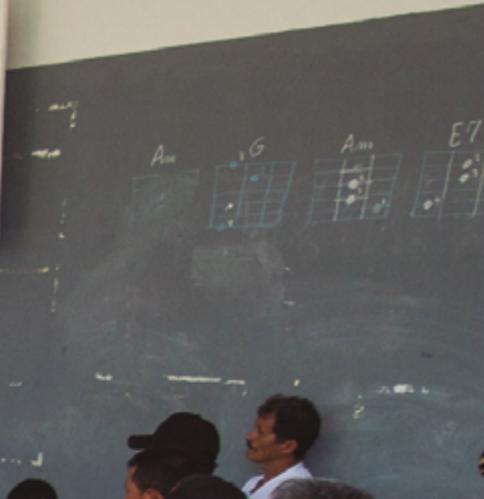
El Protocolo para la estimación y el monitoreo del carbono en coberturas forestales y no forestales de Colombia (en adelante, el Protocolo) es una guía metodológica para estimar los contenidos y flujos de carbono asociados a los cambios en el uso del suelo, basada en el *Inventario Forestal Nacional* (IDEAM, 2017) y en el *Protocolo para la Estimación Nacional y Subnacional de Biomasa – Carbono en Colombia* (IDEAM, 2011). Los procedimientos descritos, son útiles para reducir la incertidumbre en las esti-

maciones de emisiones y capturas de CO₂ por cambios en el uso del suelo, y para generar datos y reportes robustos que pueden ser implementados en iniciativas para mitigar el cambio climático dentro del sector Agricultura, Forestal y Cambio de Uso de Suelo (AFOLU, por sus siglas en inglés).

Además, la implementación del protocolo permite estimar y monitorear carbono en una variedad de coberturas, como bosques naturales y no forestales, sistemas agroforestales o silvopastoriles.

“ ”

Además, la implementación del protocolo permite estimar y monitorear carbono en una variedad de coberturas, como bosques naturales y no forestales, sistemas agroforestales o silvopastoriles.



Estructura del documento

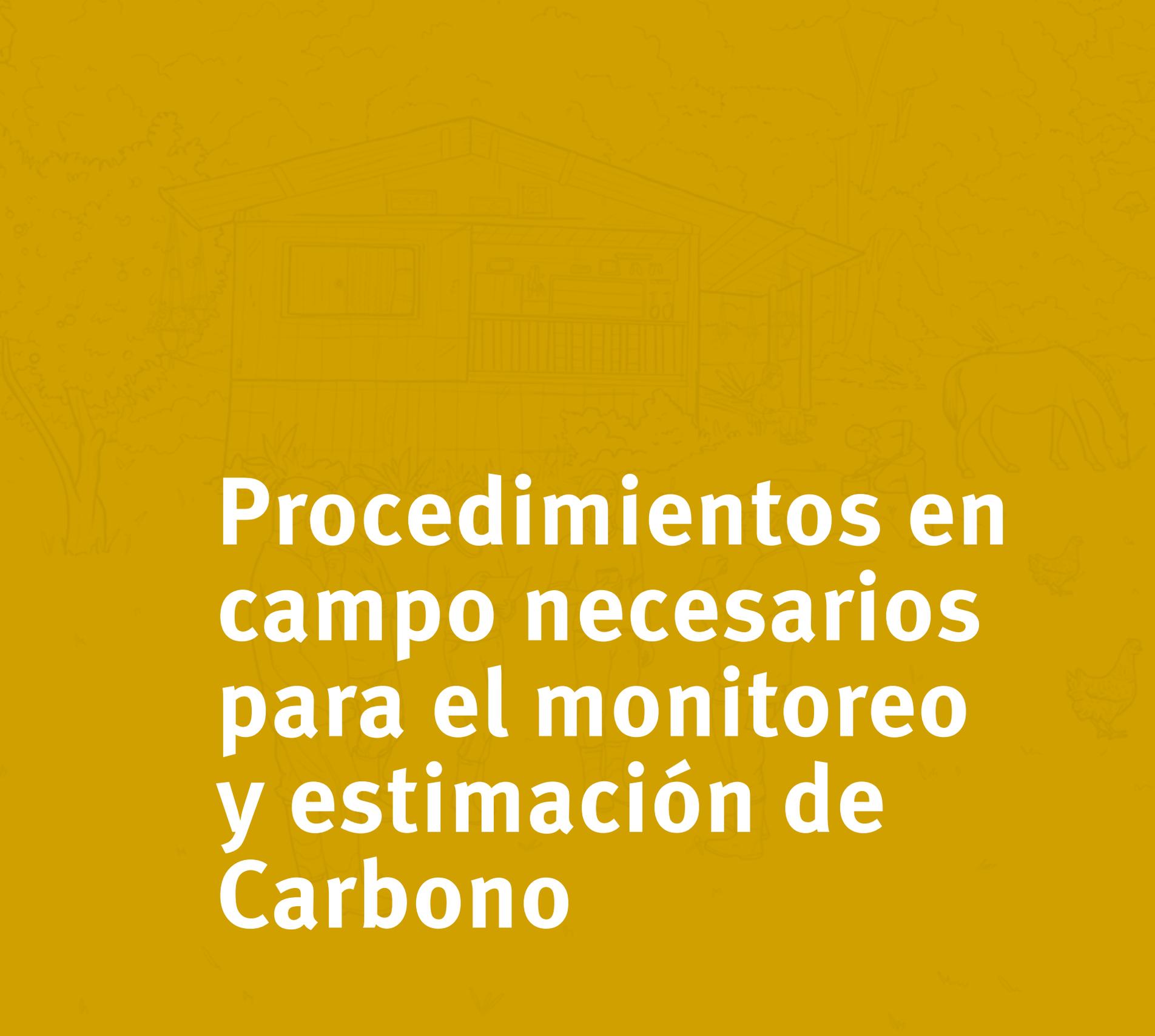
El Protocolo está diseñado siguiendo un estilo de recetario que presenta 12 procedimientos metodológicos para medir y monitorear el carbono en campo, dividido en dos capítulos; el primero describe las mediciones a realizar en campo, mientras que el segundo capítulo explica cómo analizar la información recolectada previamente. Los procedimientos 1 y 2 se enfocan en los métodos usados para establecer los sitios donde se va a medir y monitorear los cambios en los contenidos de carbono en campo asociados a cambios en el uso del suelo. Estos procedimientos incluyen el diseño de parcelas basado en las propuestas metodológicas del Inventario Forestal Nacional de Colombia, que contempla la instalación de parcelas circulares agrupadas en conglomerados. Los procedimientos 3 al 8 son los pasos metodológicos para medir y muestrear las reservas

de carbono almacenado en los compartimientos de biomasa aérea, suelo y madera muerta al interior de las parcelas mencionadas anteriormente. Finalmente, los procedimientos 9 al 12 son los pasos metodológicos para la estimación de los contenidos de carbono usando los datos recolectados en campo.

Cada procedimiento metodológico se compone de dos partes: **i) equipo requerido**, en la que se presenta una lista del equipo y los materiales necesarios en el campo o en el laboratorio para desarrollar el procedimiento, y **ii) pasos**, en la que describe, de manera secuencial, las acciones necesarias para el desarrollo de cada procedimiento. Los procedimientos metodológicos también pueden incluir tablas o figuras que facilitan la comprensión de las actividades descritas.



Cada procedimiento metodológico se compone de dos partes: i) equipo requerido, en la que se presenta una lista del equipo y los materiales necesarios en el campo o en el laboratorio para desarrollar el procedimiento, y ii) pasos, en la que se describe de manera secuencial, las acciones necesarias para el desarrollo de cada procedimiento.



**Procedimientos en
campo necesarios
para el monitoreo
y estimación de
Carbono**

01

Procedimiento

Diseño de las parcelas para categorías con arreglos no lineales

Para establecer estas parcelas se necesita:

Equipo requerido



Cámara
fotográfica



Vara metálica
o de PVC
de 1,30 m



Cinta métrica de
30 metros



Brújula



Clinómetro



GPS

Pasos

1

La medición del carbono en categorías del suelo con arreglos no lineales (por ejemplo, áreas de bosque o sistemas agroforestales) se basa en el diseño metodológico del Inventario Forestal Nacional de Colombia, que contempla la instalación de parcelas circulares agrupadas en conglomerados, los cuales deben ir dispuestos dentro una misma cobertura de manera aleatoria, con una distancia mínima de 200 metros. En ese sentido, el tamaño de la cobertura determinará el número de parcelas circulares que posiblemente se pueden instalar (ver Figuras 1 y 2).

2 **Localizar** el punto central del conglomerado

3 **Enterrar** la vara en el punto localizado y tomar el dato de sus coordenadas con el GPS. Este punto también corresponde al punto central de la parcela P-1 **Figura 1**

4 **En P-1** se debe tomar una fotografía de la cobertura donde se establece el conglomerado

5 **Desde el punto central** de la parcela, medir 15 m y 3 m en estas direcciones: norte (0°), noreste (45°), este (90°), sureste (135°), sur (180°), suroeste (225°), oeste (270°) y noroeste (315°) (ver **Figura 2** como ejemplo)

6 **Corregir** las distancias por la pendiente del terreno (ver Procedimiento 2: corrección de la distancia por la pendiente)

7 **Enterrar** una vara en cada punto medido



 Cuadrilla de campo para el establecimiento de las parcelas de monitoreo del carbono

Figura 1.
Diseño de los conglomerados

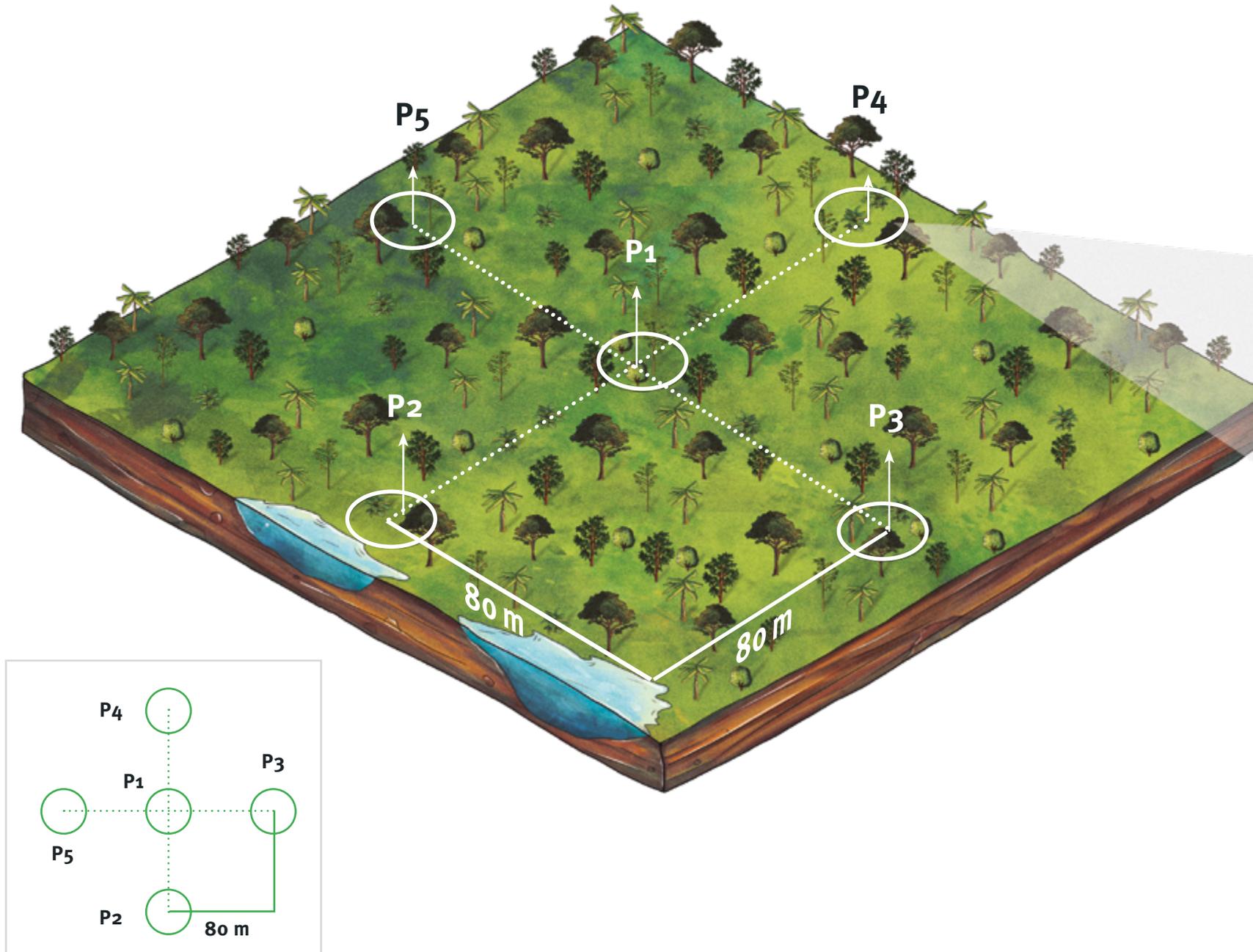
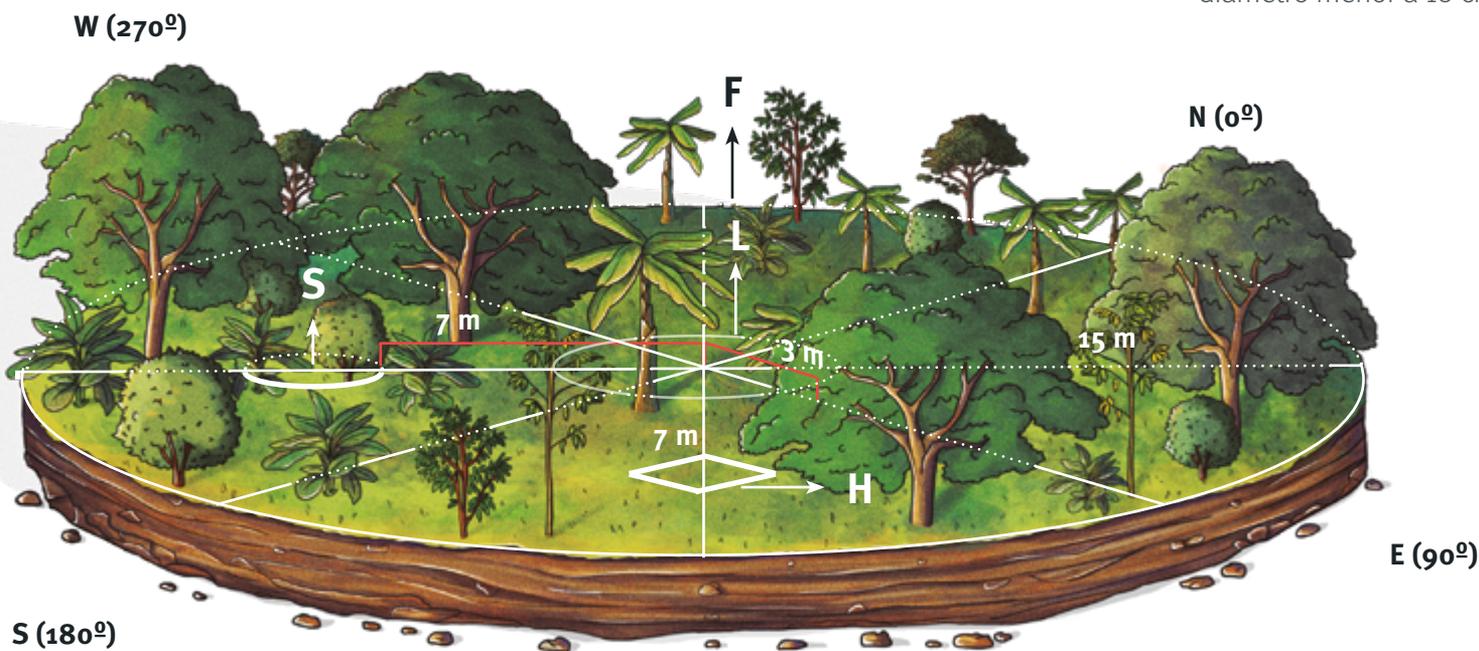


Figura 2.
Parcelas para la medición del carbono para categorías con arreglos no lineales

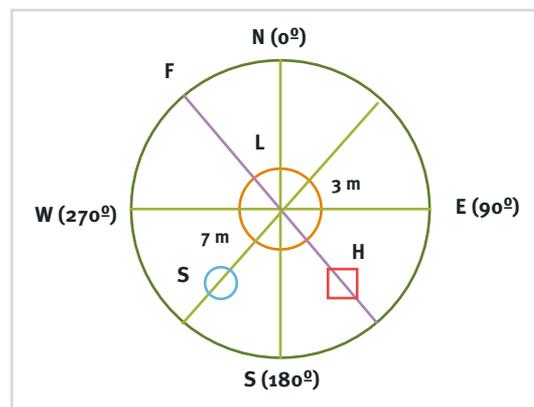
1 S: lugar de toma de muestra del suelo a 7 metros del centro de la parcela

2 F: Lugar para la medición de fustales (árboles con diámetro mayor o igual a 10 cm)

3 L: Lugar para la medición de latizales (árboles con diámetro menor a 10 cm)



4 H: lugar de toma de muestra herbácea a 7 metros del centro de la parcela



Las subparcelas para la medición y toma de muestras de herbáceas y suelos se establecen así:

- 8** Desde el punto central de cada parcela del conglomerado, medir **7 m** en estas direcciones: sureste (135°) y suroeste (225°) para establecer las parcelas de herbáceas y suelos, respectivamente (ver Figura 2)
- 9** **Corregir** las distancias por la pendiente del terreno (ver Procedimiento 2: corrección de la distancia por la pendiente)

Para establecer las parcelas P-2, P-3, P-4 y P-5 del conglomerado (ver Figura 1):

- 10** **Caminar** 80 m en dirección norte (0°) desde el centro de **P-1** hasta el centro de **P-2**
- 11** **Seguir los pasos 2 a 8** para el establecimiento de **P-2**
- 12** **Caminar** 80 m en dirección este (90°) desde el centro de **P-1** hasta el centro de **P-3**
- 13** **Seguir los pasos 2 a 8** para el establecimiento de **P-3**
- 14** **Caminar** 80 m en dirección sur (180°) desde el centro de **P-1** hasta el centro de **P-4**
- 15** **Seguir los pasos 2 a 8** para el establecimiento de **P-3**
- 16** **Caminar** 80 m en dirección oeste (270°) desde el centro de **P-1** hasta el centro de **P-5**
- 17** **Seguir los pasos 2 a 8** para el establecimiento de **P-5**



20
21

Procedimiento

Corrección de la distancia por la pendiente

Cuando las parcelas se establecen sobre un terreno inclinado, todas las mediciones de longitud deben ser corregidas por la pendiente con el fin de obtener la distancia horizontal (**Figura 3**).

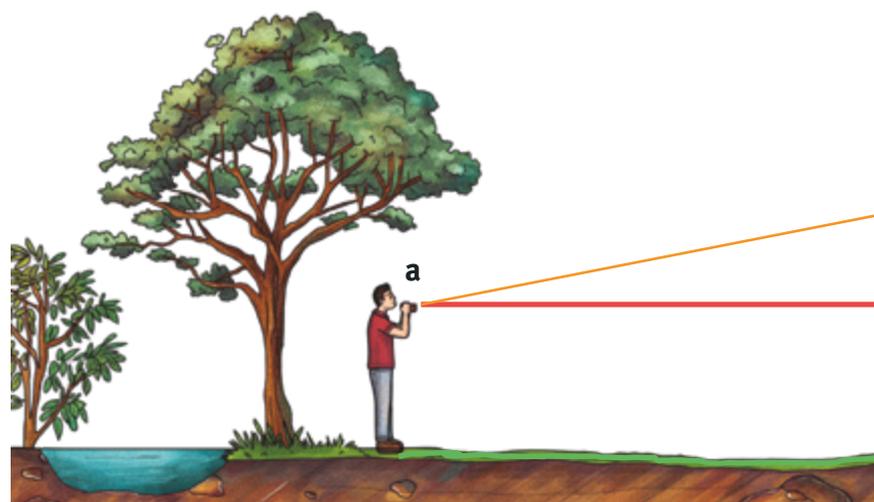
Equipo requerido



Clinómetro



Cinta métrica de 30 metros



Pasos

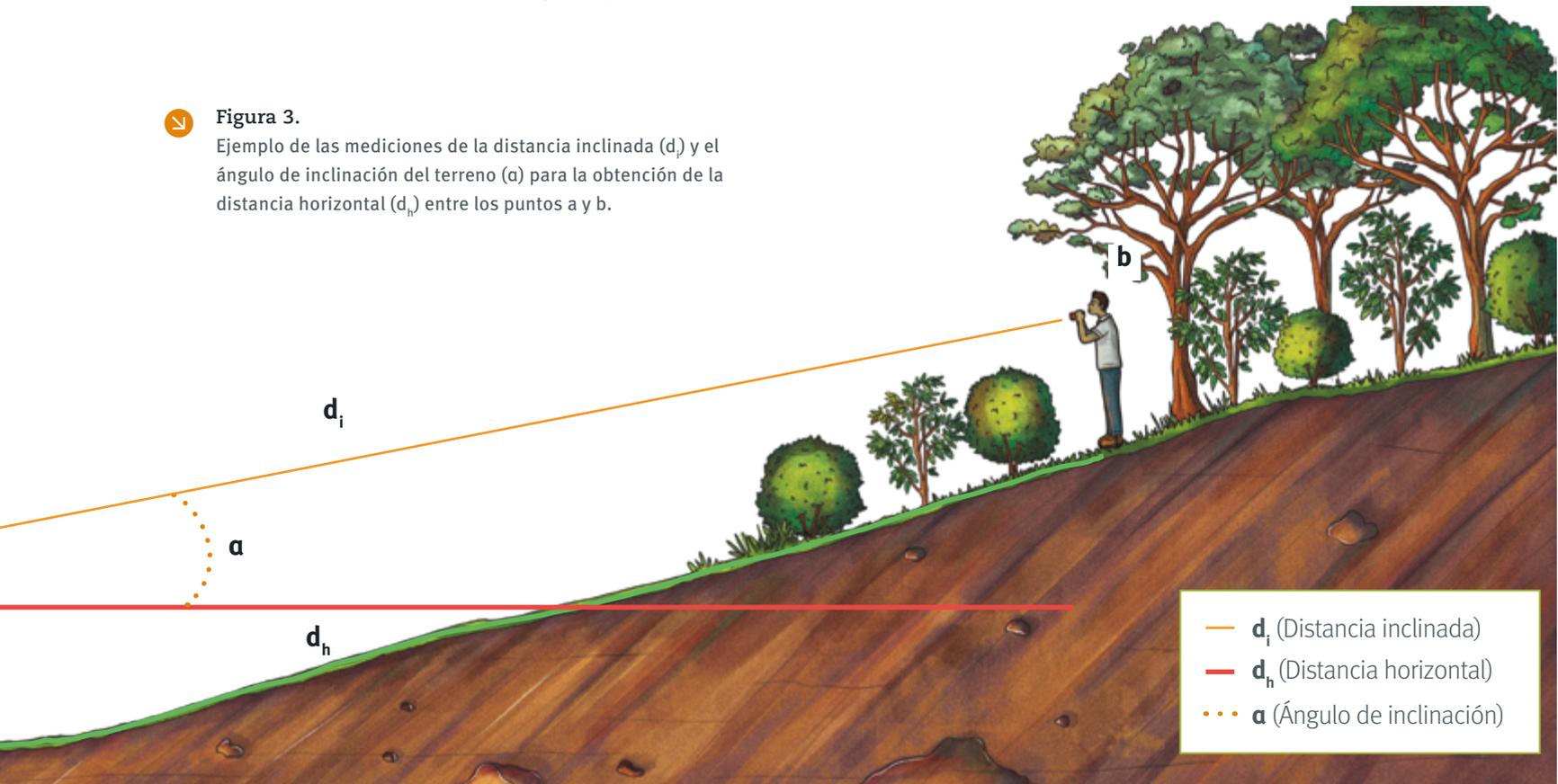
1 Medir la **distancia** inclinada (d_i en metros) del terreno del punto **a** al punto **b** (Figura 3)

2 Medir el ángulo de inclinación (α en radianes) del terreno (Figura 3)

3 Obtener la distancia horizontal (d_h en metros) aplicando la siguiente fórmula

$$d_h = d_i \times \cos \alpha$$

Figura 3. Ejemplo de las mediciones de la distancia inclinada (d_i) y el ángulo de inclinación del terreno (α) para la obtención de la distancia horizontal (d_h) entre los puntos a y b.



La Tabla 1 presenta los resultados de la corrección de la distancia horizontal por la pendiente, para distancias inclinadas de 10 m, 15 m, 20 m y 25 m con diferentes ángulos de inclinación:



Tabla 1.

Corrección de la distancia horizontal por la pendiente para diferentes distancias inclinadas y diferentes ángulos de inclinación

Ángulo de inclinación (α)		Coseno α	Distancia horizontal			
Grados ($^{\circ}$)	Radianes (rad)		para distancia inclinada 10 (m)	para distancia inclinada 15 (m)	para distancia inclinada 20 (m)	para distancia inclinada 25 (m)
3	0,052	0,999	10,0	15,0	20,0	25,0
5	0,087	0,996	10,0	14,9	19,9	24,9
9	0,157	0,988	9,9	14,8	19,8	24,7
11	0,192	0,982	9,8	14,7	19,6	24,5
14	0,244	0,970	9,7	14,6	19,4	24,3
17	0,297	0,956	9,6	14,3	19,1	23,9
19	0,332	0,946	9,5	14,2	18,9	23,6
22	0,384	0,927	9,3	13,9	18,5	23,2
24	0,419	0,914	9,1	13,7	18,3	22,8
27	0,471	0,891	8,9	13,4	17,8	22,3
31	0,541	0,857	8,6	12,9	17,1	21,4

OR

Procedimiento

Medición de la biomasa aérea de fustales



La medición de la biomasa aérea de fustales (árboles con diámetro mayor o igual a 10 cm) en arreglos no lineales se realizará al interior de la parcela de 15 m de radio (ver Procedimiento 1: diseño de las parcelas para categorías con arreglos no lineales).

Equipo requerido



Cinta métrica de 30 metros



Cinta diamétrica



Metro de costura o Calibrador



Vara de madera o PVC de 1.3 m de longitud



Brújula

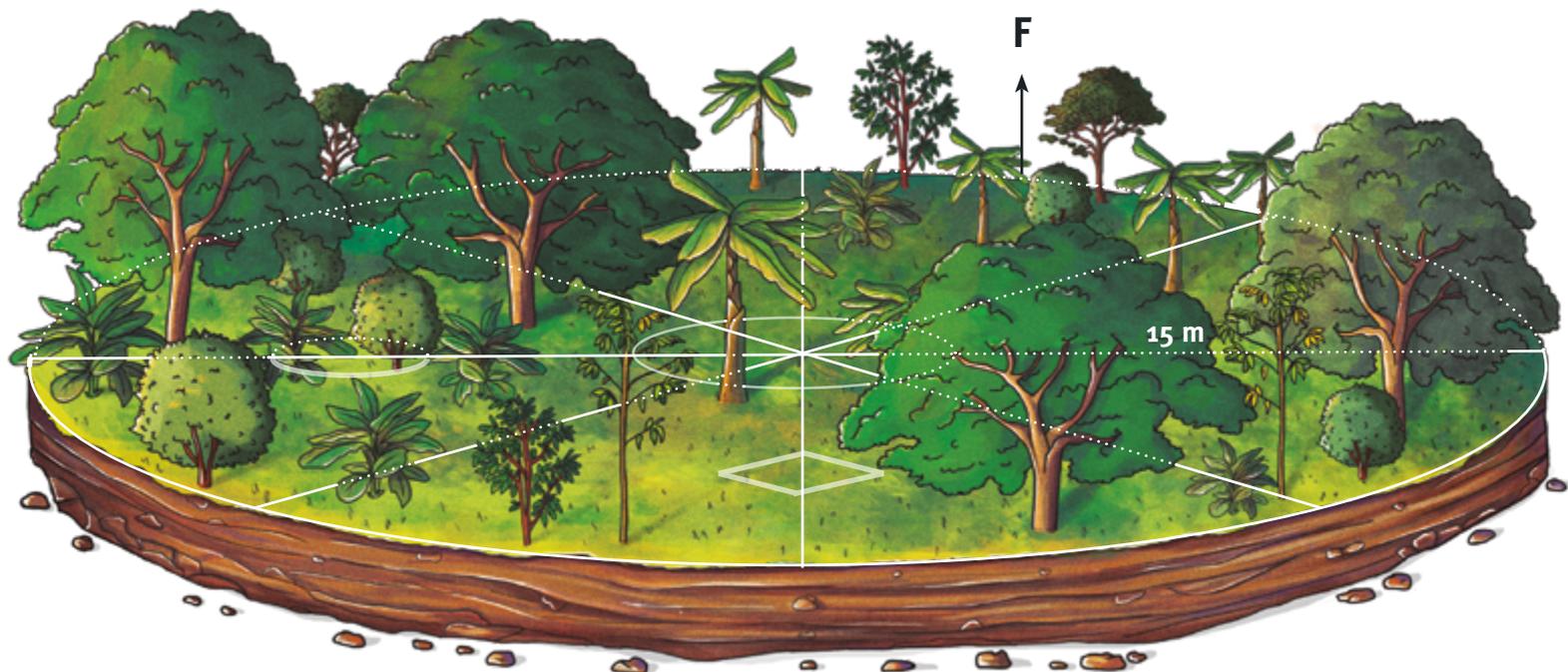


Clinómetro

Pasos

1

Desde el centro de la parcela, localizar el norte (N: 0°) e iniciar la identificación y medición de cada individuo con **Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)** ≥ 10 cm, haciendo un recorrido en dirección horaria. La **Figura 4** muestra algunos ejemplos de los posibles escenarios para la medición del DAP



2

Desde el centro de la parcela: **a.** Medir a que distancia se encuentra cada individuo con $DAP \geq 10$ cm; **b.** Medir el azimut que es el ángulo que se forma entre el Norte y el individuo

3

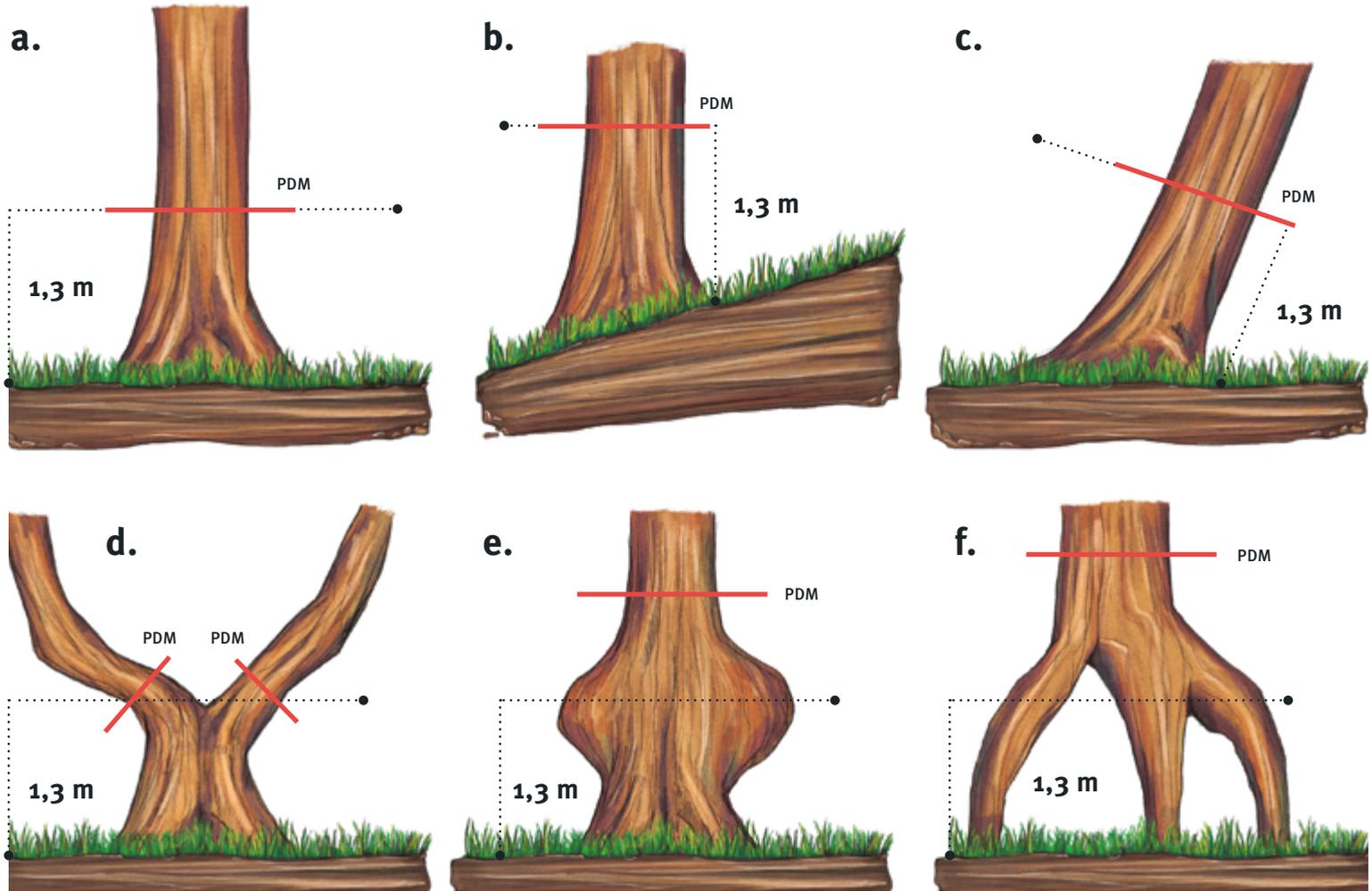
Utilizar una guía de 1,3 m de longitud (ej.: un tubo de PVC o vara de madera) para determinar **el Punto de Medición (PDM)** del DAP de cada árbol, según cada escenario de la **Figura 4**

4

Limpiar la superficie del árbol en el punto de medición del DAP

5

Medir el diámetro de cada individuo según el escenario que aplique (**Figura 4**) con una cinta diamétrica o el calibrador de 127 centímetros



4 Figura 4. Ejemplos del del Punto de Medición o PDM (línea roja) para el DAP en diferentes escenarios: a) árbol y terreno no inclinados; b) árbol no inclinado en terreno inclinado; c) árbol inclinado en terreno no inclinado; d) bifurcación debajo de 1,3 m del suelo; e) protuberancia a 1,3 m del suelo, PDM a aproximadamente 50 cm arriba del final de la protuberancia; f) presencia de raíces a 1,3 m del suelo, PDM a aproximadamente 50 cm arriba del final de las raíces.

6

En caso de que se presente un escenario diferente de medición del DAP (Figura 4), es necesario registrar el punto de medición en el que se tomó el dato y describir el escenario en el espacio para las observaciones

! Al final de esta publicación se encuentra el enlace de descarga de los formatos para el registro de la información en campo

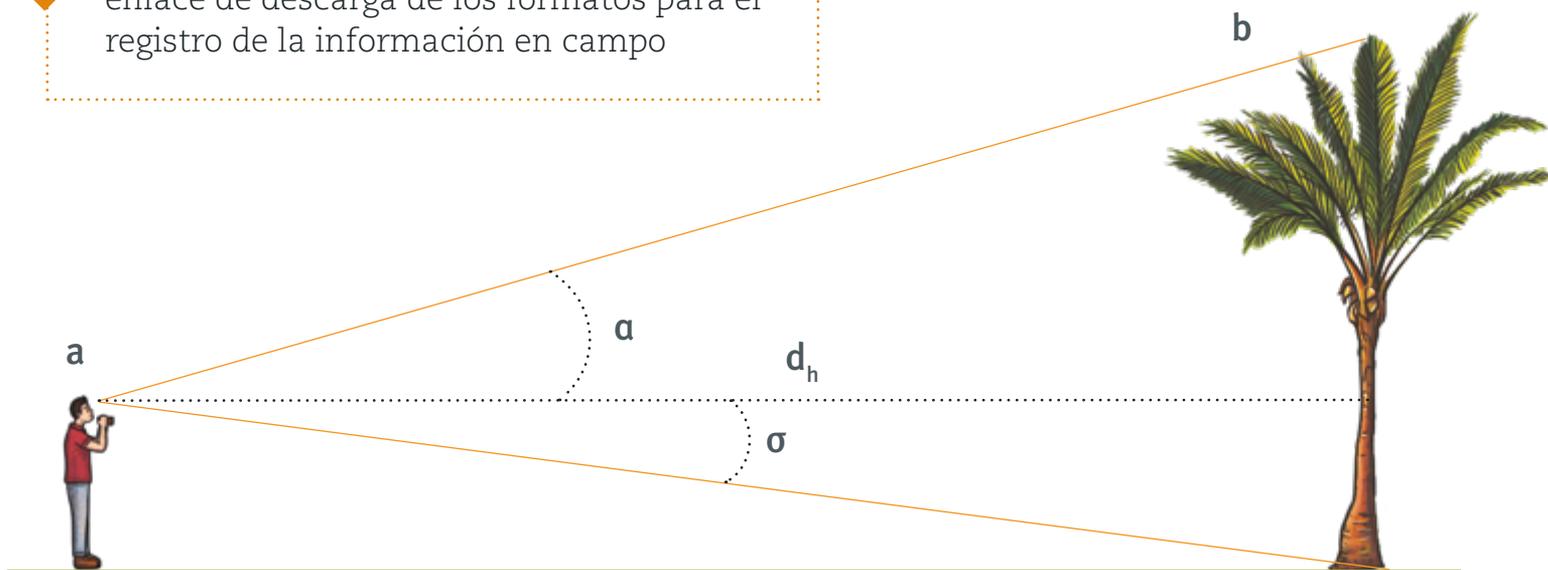


Figura 5. Representación de la medición de la altura de las palmas tomando datos con el clinómetro; a: observador, b: palma, d_h : distancia horizontal desde el ojo del observador hasta la palma, α : ángulo obtenido entre la horizontal d_h y el extremo superior de la palma, σ : ángulo obtenido entre la horizontal d_h y el extremo inferior de la palma.

En el caso de palmas:

- 1 **Medir el DAP** como se describe en los pasos 1 a 6
- 2 **Registrar** el ángulo (σ) al enfocar el extremo inferior de la palma (**Figura 5**)
- 3 **Registrar** el ángulo (α) al enfocar el extremo superior de la palma (**Figura 5**)
- 4 **Registrar** la distancia horizontal (d_h) desde el ojo del observador hasta la palma (**Figura 5**)

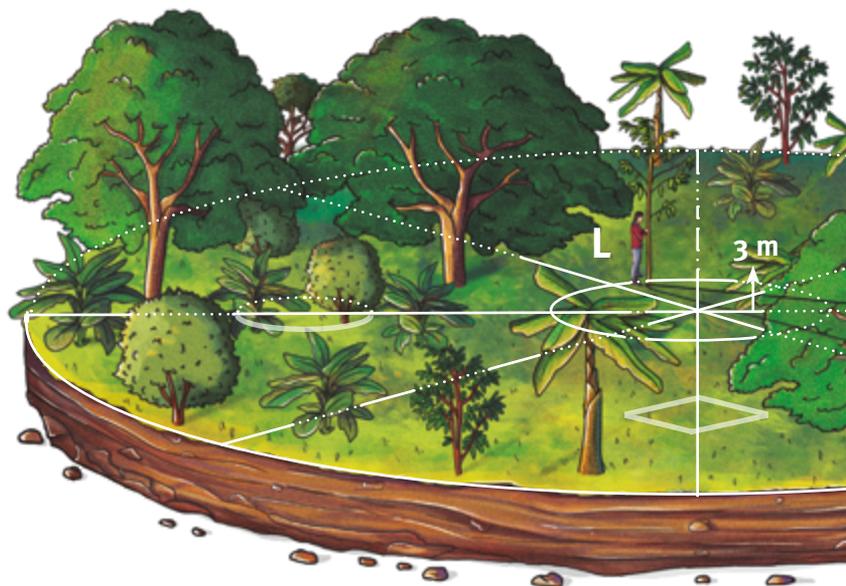
04

Procedimiento

Medición de la biomasa aérea de latizales



La medición de la biomasa aérea de latizales (arbustos con diámetro menor a 10 cm en arreglos no lineales) se realizará al interior de la parcela de 3 m de radio (ver Procedimiento 1: diseño de las parcelas para categorías con arreglos no lineales).



Equipo requerido



Cinta métrica
de 5 metros



Cinta
diamétrica



Calibrador de
30 centímetros



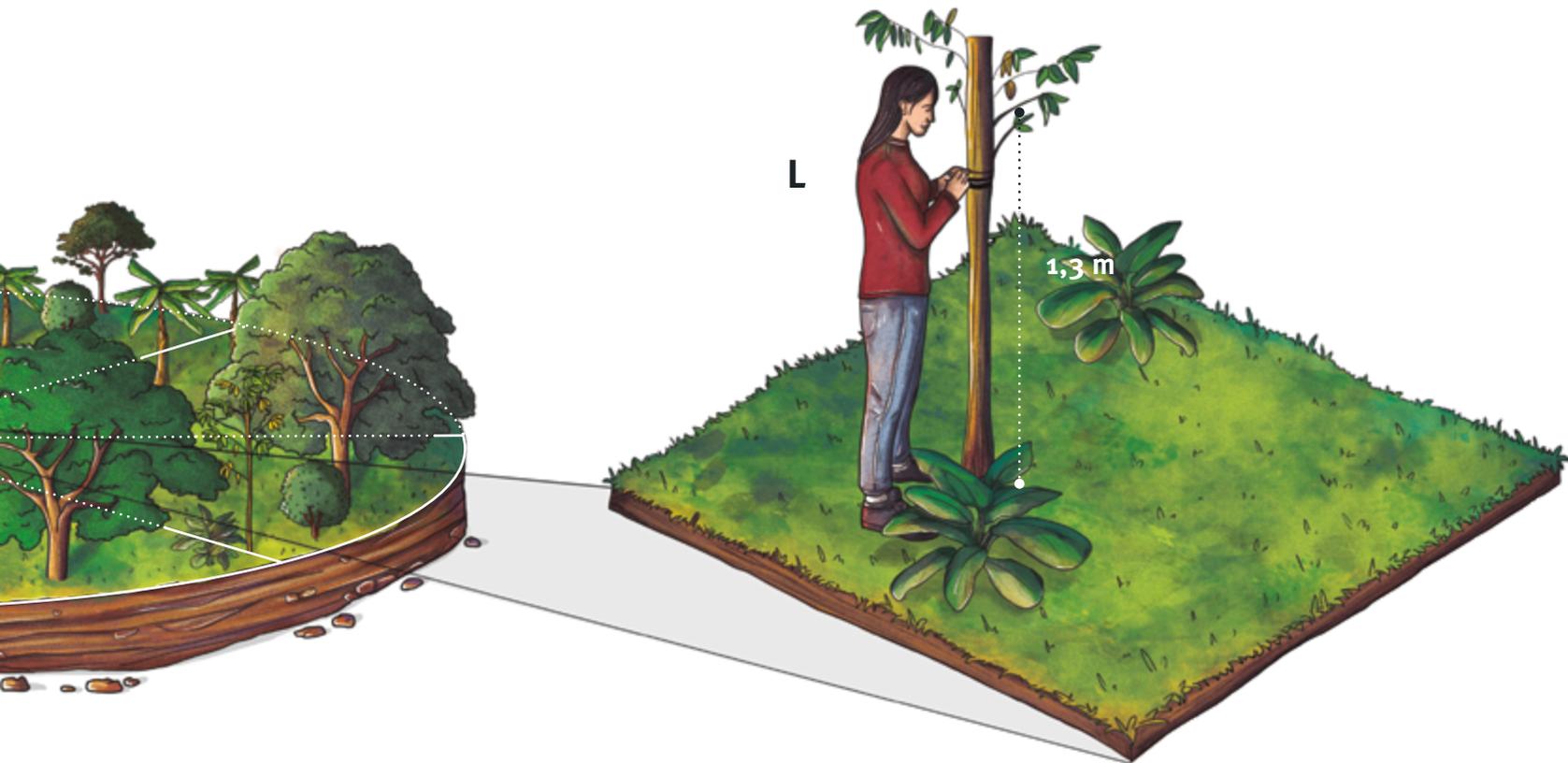
Vara de madera
o PVC de 1,3 m
de longitud



Brújula



Clinómetro



Pasos

1

Desde el centro de la parcela localizar el norte (N: 0°) e iniciar la identificación y medición de cada individuo con diámetro a la altura del pecho (DAP) < 10 cm, haciendo un recorrido en dirección horaria

2

Medir el azimut y la distancia al centro de la parcela de cada individuo con DAP < 10 cm

3

Medir la altura de cada individuo con DAP < 10 cm con la cinta métrica de 5 m



 Biomasa aérea

4

Medir el diámetro a 10 cm del suelo de cada individuo con $DAP < 10$ cm (**Figura 6**)

5

Utilizar una guía de 10 cm de longitud (ejemplo: un tubo de PVC o vara de madera) para determinar el punto de medición de cada individuo

6

Limpiar la superficie del individuo en el punto de medición del diámetro y tomar el dato con el calibrador de 10 cm. La **Figura 6** muestra algunos ejemplos de los posibles escenarios para la medición del DAP

7

En caso de que se presente un escenario diferente de medición del diámetro (Figura 6) es necesario registrar el punto de medición en el que se tomó el dato y describir el escenario en el espacio para las observaciones

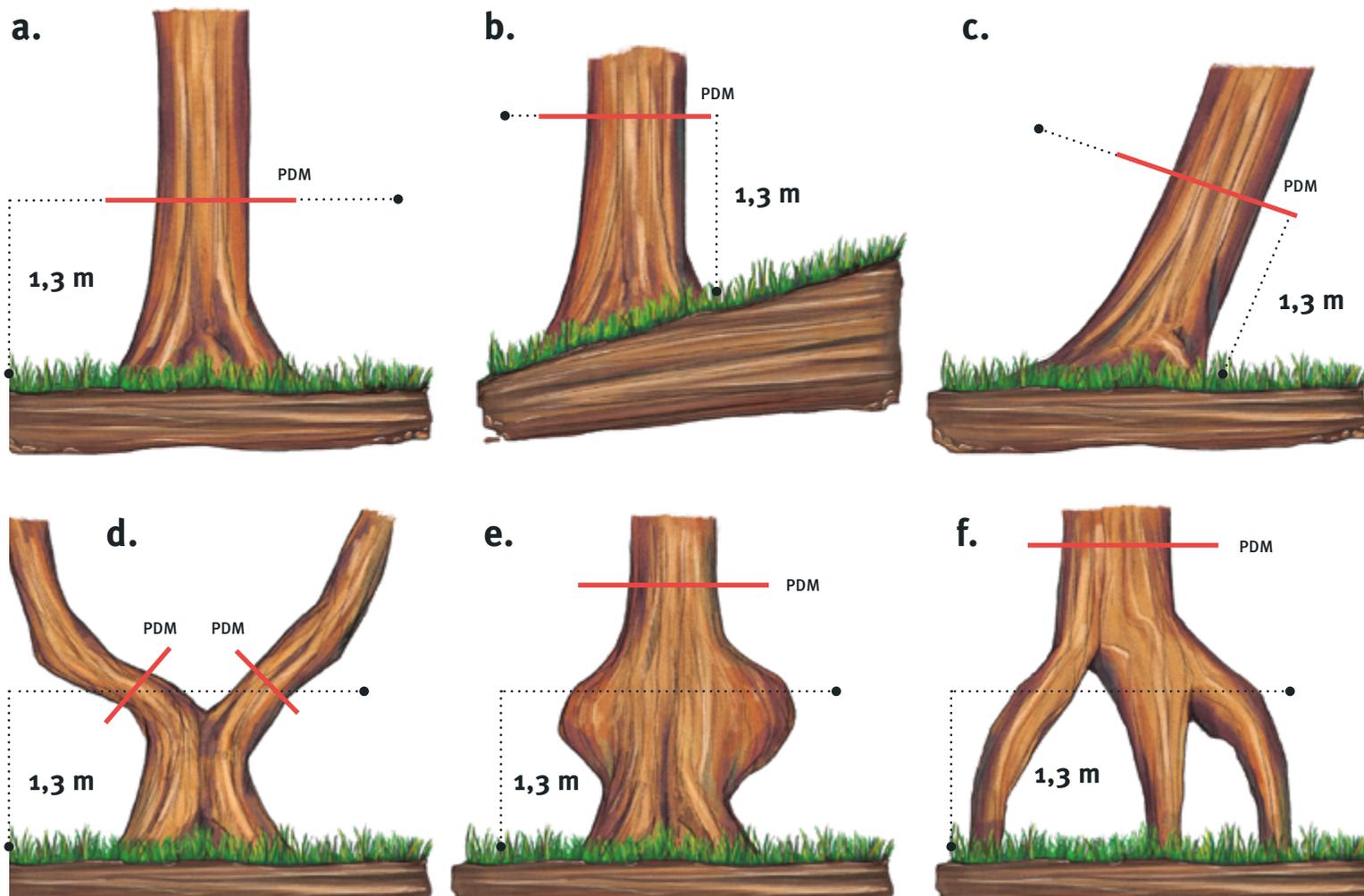


Figura 6. Ejemplos del del Punto de Medición o PDM (línea roja) para el DAP en diferentes escenarios: a) árbol y terreno no inclinados; b) árbol no inclinado en terreno inclinado; c) árbol inclinado en terreno no inclinado; d) bifurcación debajo de 1,3 m del suelo; e) protuberancia a 1,3 m del suelo, PDM a aproximadamente 50 cm arriba del final de la protuberancia; f) presencia de raíces a 1,3 m del suelo, PDM a aproximadamente 50 cm arriba del final de las raíces.

8

La Figura 6 muestra algunos ejemplos de los posibles escenarios para la medición del DAP



Al final de esta publicación se encuentra el enlace de descarga de los formatos para el registro de la información en campo

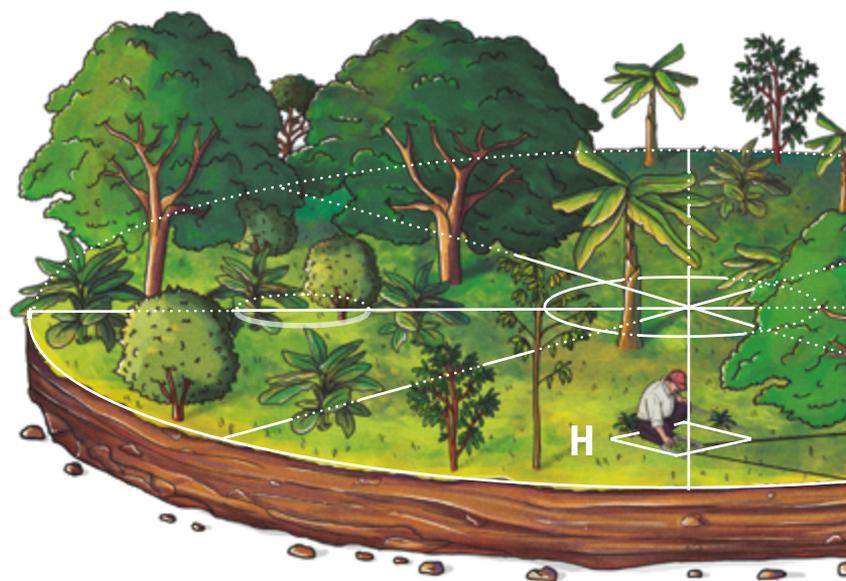
05

Procedimiento

Medición de herbáceas



La medición de herbáceas se debe realizar en el lugar denominado H dentro de la parcela, a siete metros del centro de ésta, en dirección sur occidente (ver Figura 2). Como se describe a continuación, la medición de este componente requiere la remoción y pesaje de las muestras.



Equipo requerido



Recipiente plástico grande



Tijeras de jardinería



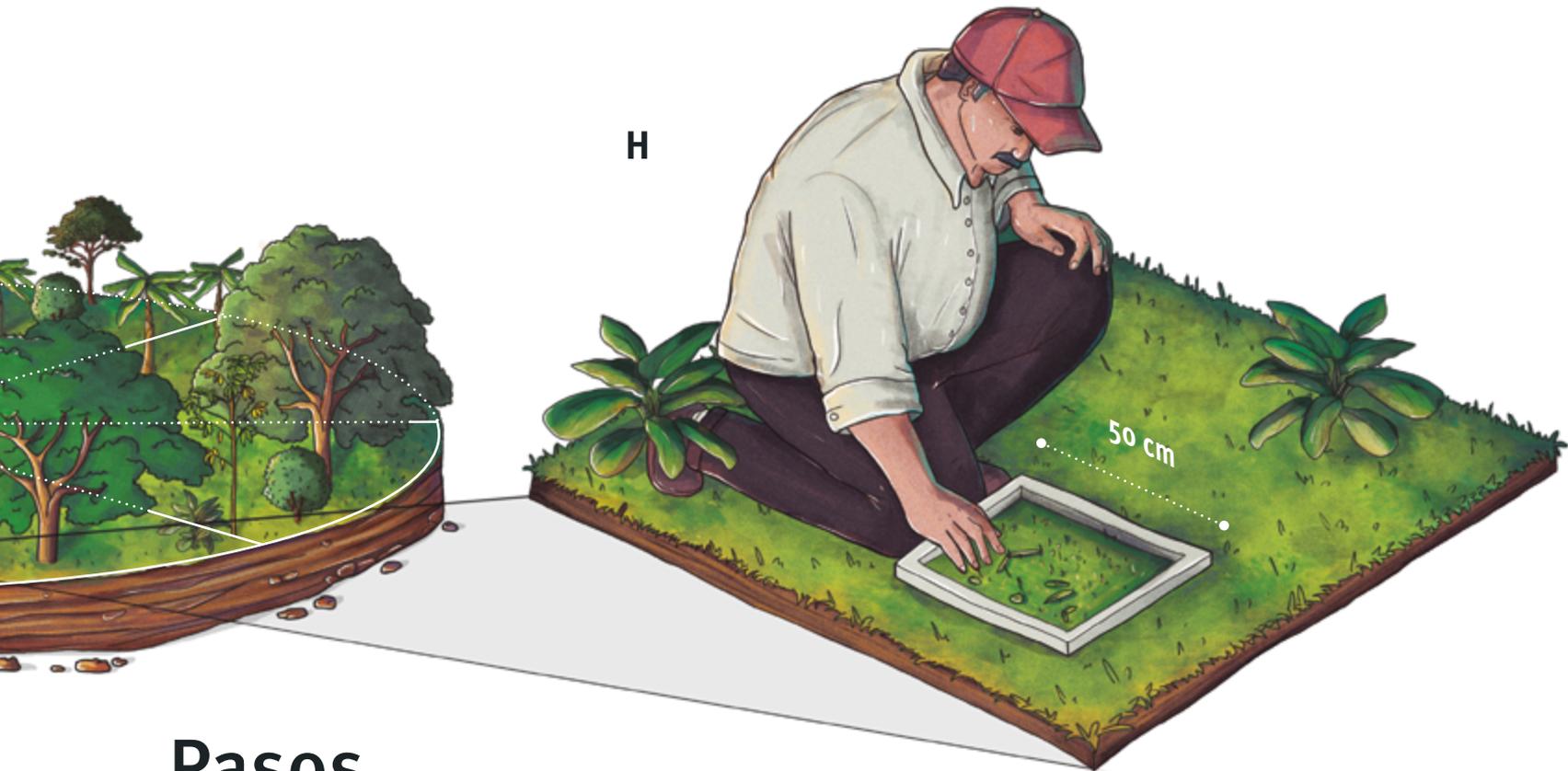
Marco de PVC de 50x50 cm (0,25 m²)



Balanza con precisión de 0,01 g



Bolsas plásticas con cierre hermético



Pasos

1

Establecer la subparcela para la medición y el muestreo de herbáceas (H) como se señala en las figuras 1, 2 y 3 de los procedimientos 1 y 2

2

Remover la biomasa aérea al interior del marco de PVC de 0,25 m², pesarla en fresco, y empacarla en una bolsa plástica debidamente marcada

3

Secar el material colectado en el laboratorio a 65 °C hasta alcanzar un peso constante (entre dos a tres días), y hacerle registro

!

Al final de esta publicación se encuentra el enlace de descarga de los formatos para el registro de la información en campo

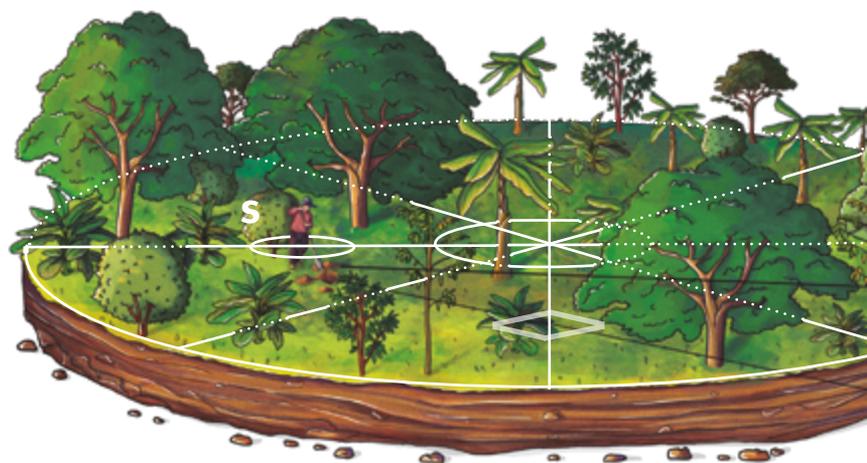
06

Procedimiento

Colección de muestras de suelos



Este procedimiento requiere del análisis en laboratorio de las muestras de suelo colectadas en campo, por lo cual es necesario identificar una institución universitaria o un centro de investigación que tenga la capacidad de procesar y analizar las muestras tomadas.



Equipo requerido



Barreno de golpe o martillo de goma



Cilindro metálico de volumen calibrado



Bolsas plásticas con cierre hermético



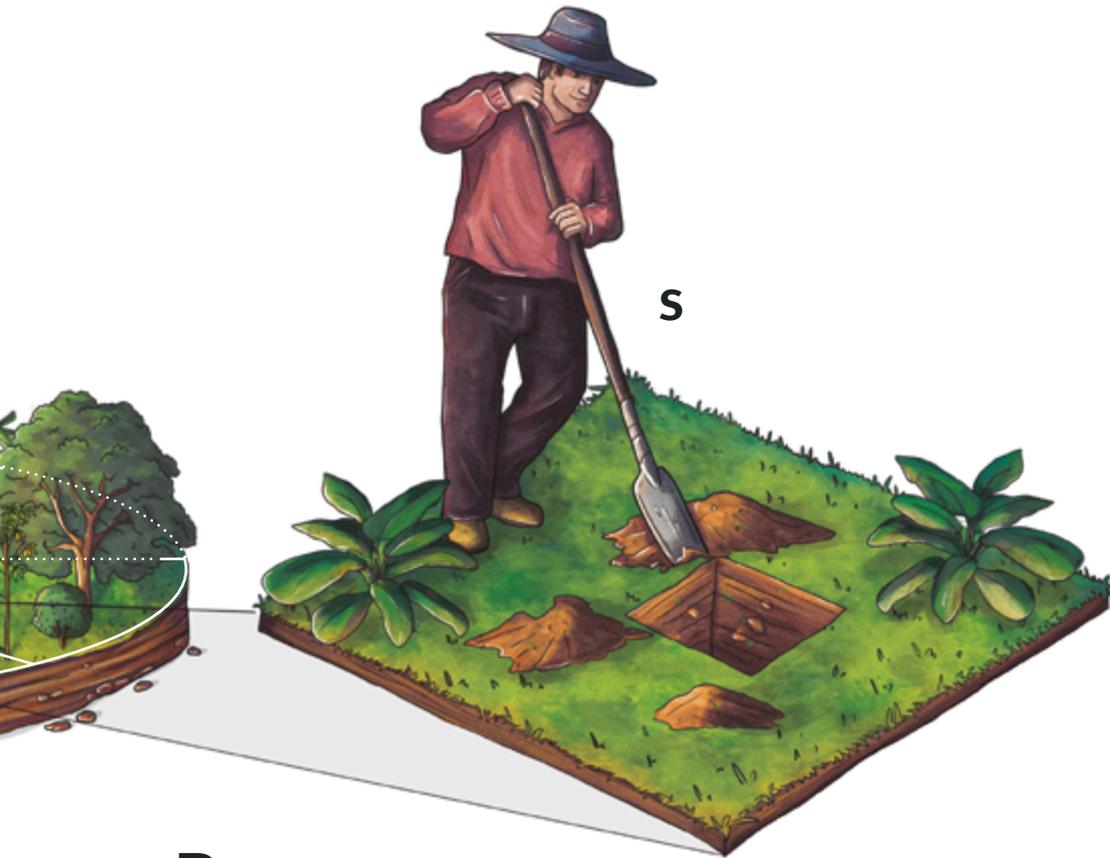
Pala grande



Pala pequeña



Cuchillo



Pasos

1

Establecer la subparcela para el muestreo de suelos (S) como se señala en el procedimiento “Diseño de las parcelas para categorías con arreglos no lineales” (Figura 2)

2

En una franja de aproximadamente 20 x 50 cm al interior de la subparcela S retirar todo el material vegetal, vivo o muerto, hasta encontrar la superficie del suelo (Figura 7)

3

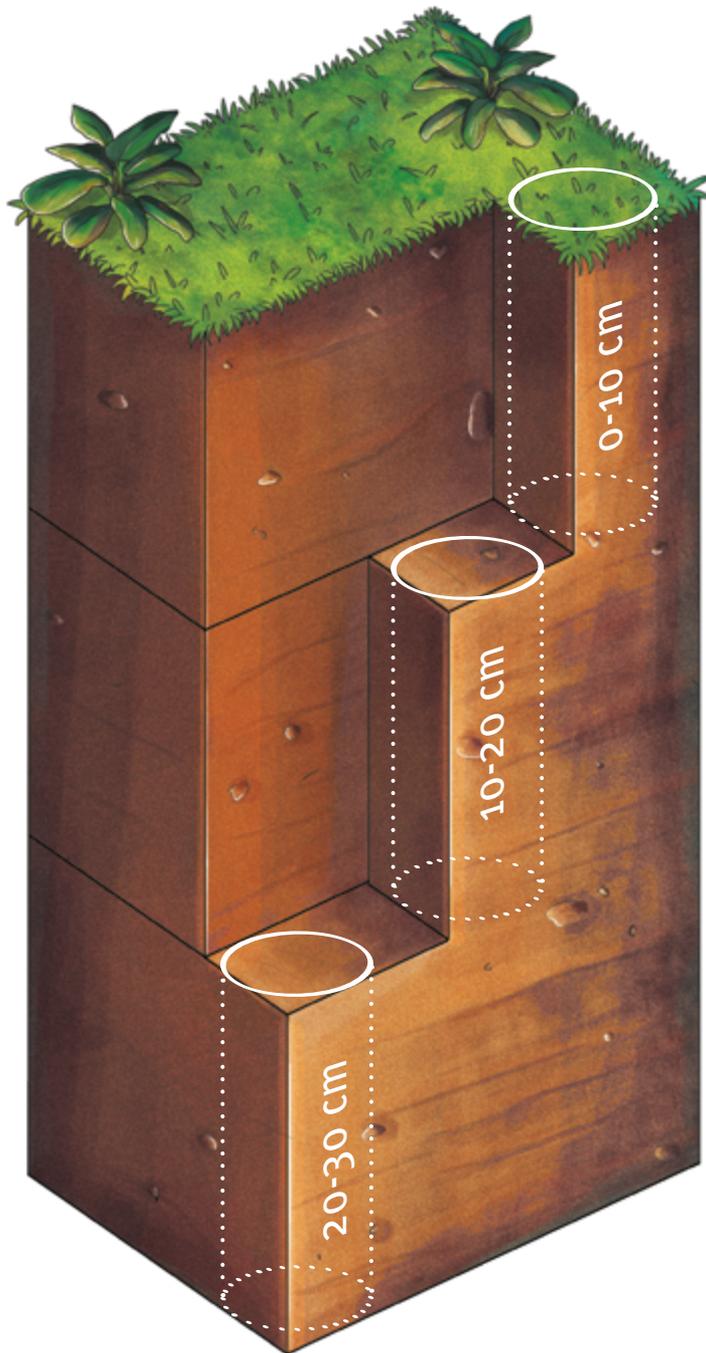
Insertar el barreno en uno de los extremos de la franja con suelo descubierto para tomar la muestra del perfil 0–10 cm (Figura 7)

4

Extraer la muestra de suelo del perfil 0–10 cm del cilindro metálico de volumen calibrado y empaclarla en la bolsa plástica de cierre hermético (marcada)

5

Cavar un hoyo de aproximadamente 20 cm de ancho x 10 cm profundidad, corroborado con una cinta métrica, adyacente al lugar donde se está extrayendo la muestra 0–10 cm (Figura 7)



↙ **Figura 7.**
Vista lateral a) y superficial b) del esquema para la toma de muestras de suelo a 0–10, 10–20 y 20–30 cm de profundidad

- 6** **Insertar** el barreno en el fondo del hoyo recién cavado para tomar la muestra del perfil 10–20 cm (**Figura 7**)
- 7** **Extraer** la muestra de suelo del perfil 10–20 cm del cilindro metálico de volumen calibrado y empacarla en la bolsa plástica de cierre hermético (marcada)
- 8** **Cavar** un hoyo de aproximadamente 20 cm de ancho x 10 cm profundidad, corroborado con una cinta métrica, adyacente al lugar donde se está extrayendo la muestra 10–20 cm (**Figura 7**)
- 9** **Insertar** el barreno en el fondo del hoyo recién cavado para tomar la muestra del perfil 20–30 cm (**Figura 7**)

10 **Extraer** la muestra de suelo del perfil 20–30 cm del cilindro metálico de volumen calibrado y empacarla en la bolsa plástica de cierre hermético (marcada)

11 **Rellenar los hoyos** con el suelo sobrante una vez extraídas las tres muestras

12 **Enviar** las muestras al laboratorio para análisis de peso seco, densidad aparente y concentración de carbono



Al final de esta publicación se encuentra el enlace de descarga de los formatos para el registro de la información en campo



 Ejemplo de la extracción de las muestras de suelo en el perfil 0-10 cm

07

Procedimiento

Medición de madera muerta caída



Como se describe a continuación, la medición de la madera muerta caída debe realizarse por fuera de la parcela de medición de los demás reservorios de carbono, con el fin de establecer las distancias requeridas para la medición de este componente y reducir el impacto que pueda generar el grupo de campo al medir los demás componentes.

Equipo requerido



Brújula



Clinómetro



Cinta diamétrica –
forcípula de 127 cm



Cinta métrica de
30 m

Pasos

1

Establecer cuatro transectos de 15 m cada uno (T1, T2, T3 y T4), como se muestra en la **Figura 8**

2

Corregir la distancia del transecto cuando se establezca sobre un terreno inclinado (ver Procedimiento 2: corrección de la distancia por la pendiente)

3

Registrar el diámetro de todas las piezas de madera muerta caída que crucen el transecto, cuando su diámetro sea ≥ 10 cm

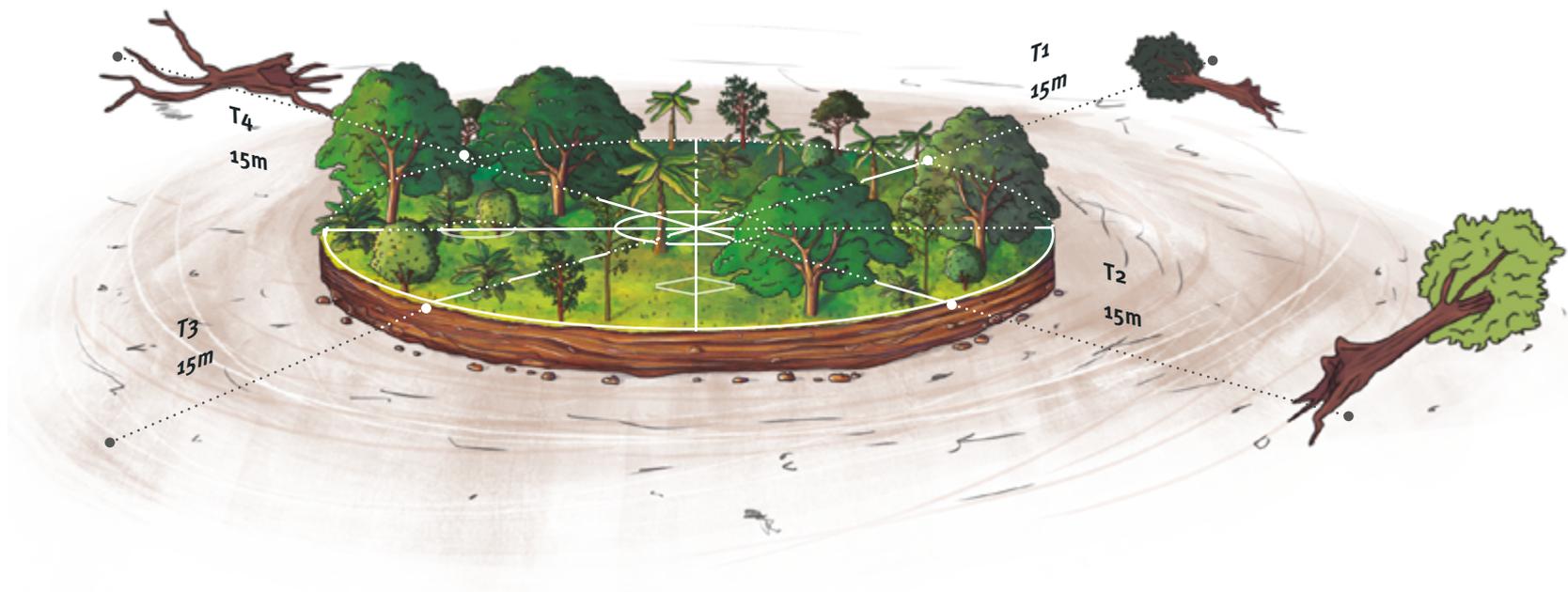


Figura 8.

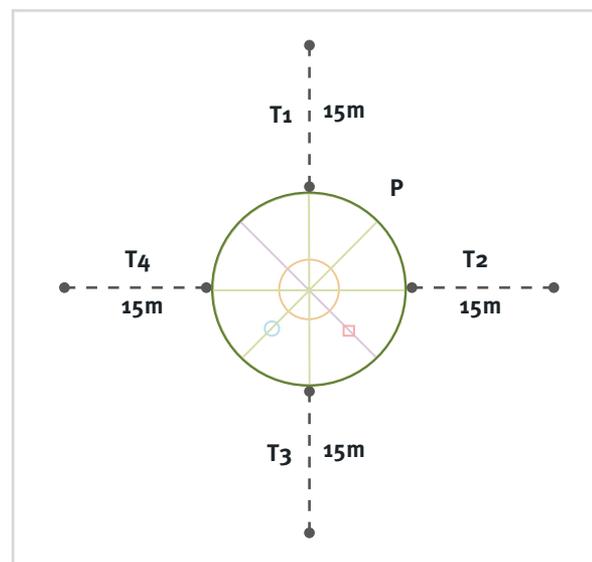
Esquema de la localización de los transectos para la medición de la madera muerta caída, alrededor de la parcela de medición

4

La medición del diámetro debe tomarse en el punto de intersección entre el transecto y la pieza de madera, y se debe tomar perpendicular al eje longitudinal del tronco (**Figura 9**)

5

Registrar la orientación de la pieza: la brújula debe apuntar hacia el extremo donde estarían localizadas las ramas (**Figura 9**)





 Establecimiento de los transectos para la medición de la madera muerta caída

6

Registrar la inclinación de la pieza: el clinómetro debe permanecer paralelo al eje central de la pieza (**Figura 10**)

7

Clasificar las piezas de madera en una de las tres categorías de descomposición que se presentan a continuación:

- **Categoría 1:** Madera sólida recientemente caída con la corteza intacta
- **Categoría 2:** Madera con corteza podrida y de fácil desprendimiento
- **Categoría 3:** Madera podrida que puede ser fácilmente desprendida o pulverizada cuando es pateada o removida con las manos

!

Al final de esta publicación se encuentra el enlace de descarga de los formatos para el registro de la información en campo

Figura 9.
Esquema de la localización del punto de medición de la madera muerta caída y medición de la orientación de la pieza



42
43

Figura 10.
Medición de la inclinación (α) de la pieza de madera muerta caída



08

Procedimiento

Medición de madera muerta en pie



A diferencia de la madera muerta caída, la madera muerta en pie se mide al interior de cada parcela, siguiendo un procedimiento similar al utilizado en la medición de la biomasa aérea.

Equipo requerido



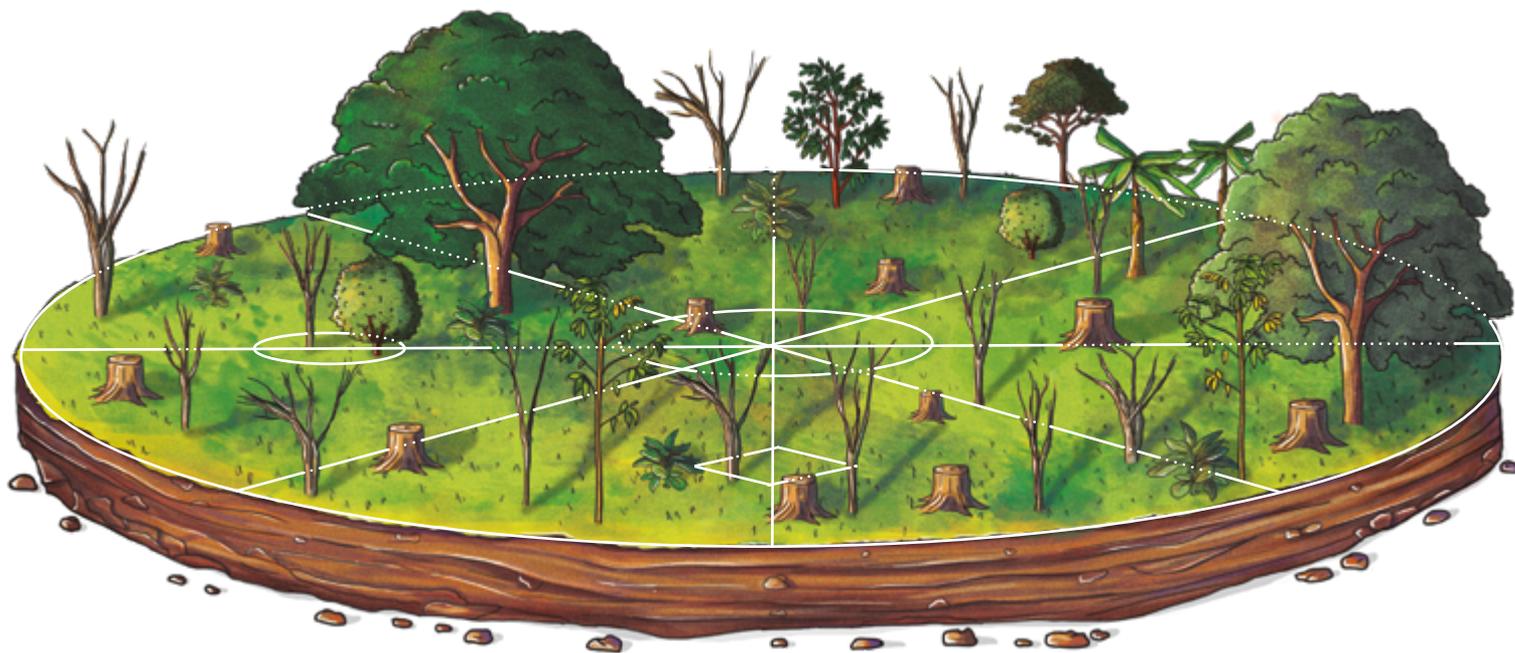
Cinta métrica
de 30 metros



Cinta diamétrica –
forcípula de 127 cm

Pasos

- 1** **Medir la madera muerta** en pie al interior de cada parcela P (**ver Figura 1**) del conglomerado
- 2** **Registrar** el diámetro en la base (10 cm) de todos los árboles muertos en pie con diámetro ≥ 10 cm que estén al interior de la parcela (**Figura 11**)
- 3** **Registrar** la altura desde la base hasta el tope de las piezas muertas en pie (**Figura 11**), y si la pieza muerta en pie tiene una altura mayor a 3 metros, se sugiere seguir los pasos para el caso de las palmas del Procedimiento 3 (**Figura 5**)



4

Clasificar las piezas de madera en una de las tres categorías de descomposición que se presentan a continuación:

- **Categoría 1:** Madera sólida recientemente caída con la corteza intacta
- **Categoría 2:** Madera con corteza podrida y de fácil desprendimiento
- **Categoría 3:** Madera podrida que puede ser fácilmente desprendida o pulverizada cuando es pateada o removida con las manos



Al final de esta publicación se encuentra el enlace de descarga de los formatos para el registro de la información en campo



Figura 11.

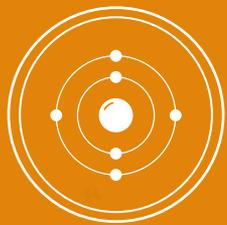
Puntos de medición del diámetro y la altura (h) de la madera muerta en pie



Análisis de datos y resultados

Los datos generados en campo permiten entender:

1. CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA

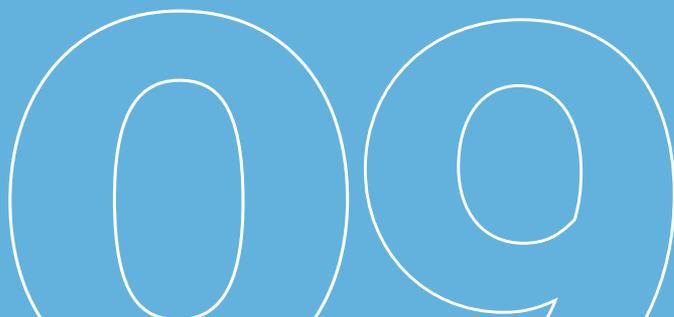


2. CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO



3. CARBONO ALMACENADO EN MADERA MUERTA





Procedimiento

Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea

La estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea se realiza de la siguiente manera:

Equipo
requerido



Computador

Pasos

1

Biomasa aérea herbácea: las muestras de biomasa aérea herbácea tomadas en campo deben ser llevadas al laboratorio, donde serán secadas a 60 °C hasta alcanzar peso constante. El peso seco final de cada muestra debe ser registrado en unidades de gramos por metro cuadrado (g m^{-2}), y posteriormente extrapolado a toneladas por hectárea (t ha^{-1})

2

Área basal arbórea y arbustiva: el área basal (m^2) arbórea y arbustiva se obtiene mediante la implementación de la siguiente fórmula:

$$AB_{ij} = \pi \times \left(\frac{d_i^2}{4} \right)$$

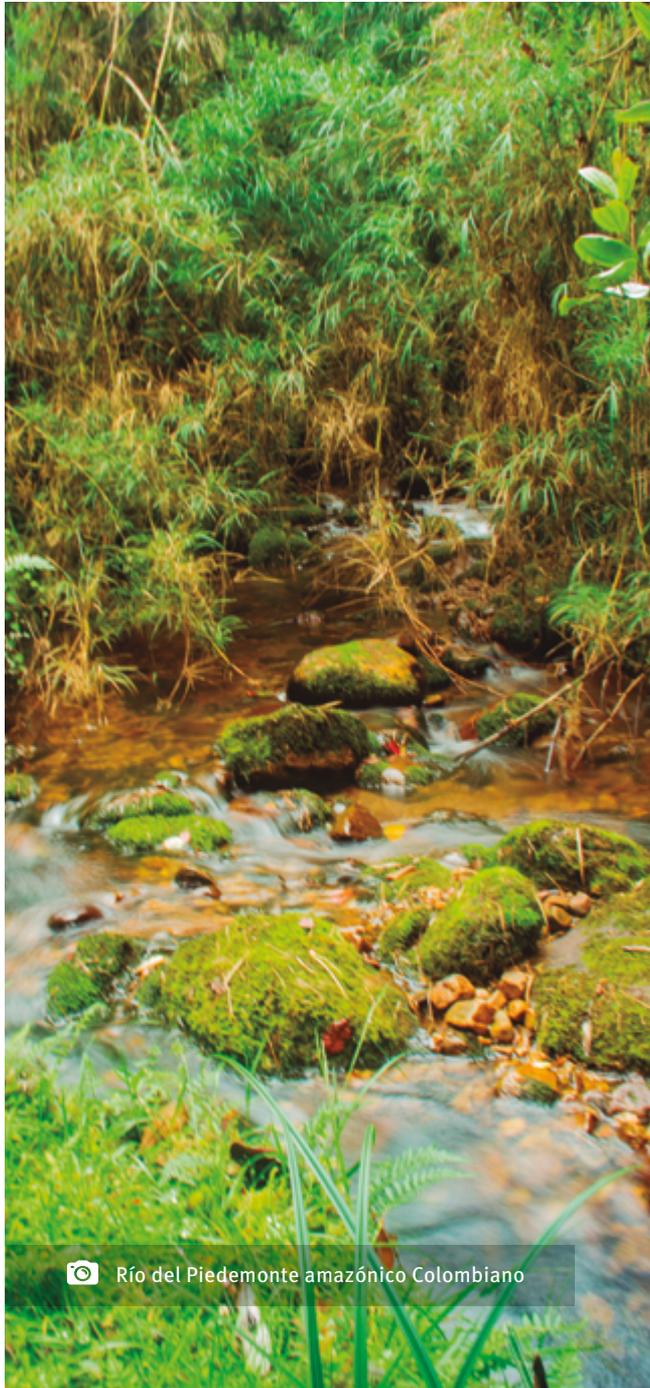
en donde **AB_{ij} ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)** es el área basal del árbol o arbusto **i** en la categoría de uso **j**, **π** es un número constante ($\sim 3,1416$), y **d_i^2 (m)** es el diámetro del árbol o arbusto **i** en la categoría de uso **j**. Con el área basal de cada individuo se calculó el área basal arbórea y arbustiva de cada parcela, en cada una de las categorías de uso del suelo de cada región y para cada año de la secuencia cronológica



48

49

 Miembros de la comunidad aprendiendo a utilizar los equipos de campo para la estimación del carbono



📷 Río del Piedemonte amazónico Colombiano

3

Biomasa aérea arbórea (fustales): la biomasa aérea arbórea puede ser obtenida mediante la implementación de la ecuación alométrica propuesta por Chave et al. (2005), para la estimación de la biomasa aérea de árboles en regiones húmedas tropicales:

$$BA_{ij} = \pi_i \cdot (\exp (-1,499 + 2,1481 (\ln (di))) + 0,207 (\ln (di))^2 - 0,0281 (\ln (di))^3)$$

en donde **BA_{ij} (t ha⁻¹)** es la biomasa aérea del árbol **i** en la categoría **j**, **π_i (g cm⁻³)** es la densidad de la madera del árbol **i**, y **di (m)** es el diámetro del árbol **i**. La densidad de la madera del árbol vivo se puede obtener utilizando el valor propuesto por Chave et al. (2009) para áreas tropicales de alta diversidad de especies (0,632 g cm⁻³)

4

Biomasa aérea arbustiva (latizales): la biomasa aérea arbustiva puede ser obtenida mediante la implementación de la ecuación alométrica propuesta por Nascimento y Laurance (2002):

$$BA_{ij} = \exp (2,4128 (\ln (di)) - 1,9968)$$

en donde **BA_{ij} (t ha⁻¹)** es la biomasa aérea del arbusto **i** en la categoría **j**, y **di (m)** es el diámetro del arbusto **i** medido a 10 cm del suelo. Esta ecuación no incluye la densidad de la madera

5

Biomasa aérea de *Leucaena leucocephala* y *Tinthonia diversifolia* (botón de oro): este protocolo incluye ecuaciones alométricas de dos especies de alta importancia en iniciativas de ganadería sostenible (*Leucaena leucocephala* y *Tinthonia diversifolia*), y está abierto para la inclusión de más ecuaciones de otras especies arbóreas y arbustivas de importancia productiva. En el caso de *leucaena*, la biomasa aérea puede ser estimada mediante la ecuación alométrica propuesta por Gómez-Castro et al. (2010):

$$BA_{ij} = -146 + 1,69 (\ln(di))$$

en donde **BA_{ij} (t ha⁻¹)** es la biomasa aérea del individuo de leucaena *i* en la categoría **j**, y **di (m)** es el diámetro del individuo *i* medido a 10 cm del suelo. Esta ecuación no incluye la densidad de la madera.

Por otra parte, la estimación de la biomasa aérea de botón de oro (**t ha⁻¹**) se basó en la metodología propuesta por Ríos (1998), en la que se asume que la biomasa aérea de cada individuo de botón de oro es ~3,2 kg planta⁻¹. No existen ecuaciones alométricas publicadas para botón de oro, por lo que el cálculo de la biomasa de esta especie en cada parcela, en cada una de las categorías de uso del suelo de cada región y para cada año de la secuencia cronológica, utilizó el valor propuesto por Ríos (1998)

6

Biomasa aérea total: la biomasa aérea total en cada parcela se calcula como la suma de las biomases aéreas herbácea, arbórea, arbustiva (incluyendo árboles y arbustos de carácter productivo) dentro de la parcela:

$$BA_T = BA_{arbo} + BA_{arbu} + BA_h + BA_l + BA_{bo}$$

en donde **BA_T (t ha⁻¹)** es la biomasa aérea total y **BA_{arbo}**, **BA_{arbu}**, **BA_h**, **BA_l** y **BA_{bo}** son las biomases aéreas arbórea, arbustiva, herbácea, y de dos tipos de especies productivas (en este caso leucaena y botón de oro).

7

Carbono almacenado en la biomasa aérea: con el fin de obtener el carbono almacenado en la biomasa aérea los resultados de biomasa aérea, expresados en t ha⁻¹, deben ser convertidos a toneladas de carbono por hectárea (t C ha⁻¹), multiplicando por el factor de conversión de 0,47 sugerido por el IPCC (2006). Estos valores de carbono deben ser convertidos, a su vez, a toneladas de CO₂ equivalente por hectárea (t CO₂e ha⁻¹) mediante el uso del factor de conversión de carbono a CO₂e de 3,67 sugerido por UNFCCC (2012)

10

Procedimiento

Estimación del carbono almacenado en el suelo

Después de la recolección de muestras en campo, la estimación del carbono almacenado en suelo se hace de la siguiente manera:

Equipo requerido



Computador



Miembros de la comunidad analizando la ubicación de diferentes coberturas para el monitoreo de carbono



Pasos

1

Análisis de laboratorio y estimación del contenido de carbono

Las muestras de suelo colectadas en campo deben ser enviadas al laboratorio para determinar su peso seco (g), densidad aparente (g cm^{-3}) y concentración de carbono (%C: $\text{g C}/100 \text{ g}$ de muestra de suelos). Las muestras deben ser secadas en el horno del laboratorio a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta conseguir peso constante y tamizadas para separar el material por tamaño y posteriormente por tipo de material (ejemplo, rocas o detritos de madera). Tanto el volumen como el peso de las rocas y demás material de tamaño mayor al tamiz fino deben ser registrados. El volumen de la fracción fina se obtiene de la resta del volumen total menos el volumen

de las rocas y raíces gruesas, según el protocolo de IDEAM (2011).

La concentración de carbono puede ser determinada por el método de combustión seca (a 900°C) utilizando un analizador PE 2400 Series II CHNS/O calibrado con acetanilida certificada ($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}$).

Las reservas totales de carbono orgánico del suelo se calculan como el producto de la concentración de carbono (%C), la densidad aparente (g cm^{-3}) y el grosor (cm) en las capas de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm de profundidad (Fearnside & Barbosa, 1998). En áreas productivas debe aplicarse una corrección por compactación debido al pisoteo del ganado o a la mecanización del terreno, siguiendo la metodología propuesta por Ellert y Bettany (1995).

Los resultados del carbono almacenado en el suelo, expresados en t C ha^{-1} , deben ser convertidos a toneladas de CO_2 equivalente por hectárea ($\text{t CO}_2\text{e ha}^{-1}$) mediante el uso del factor de conversión de carbono a CO_2e de 3,67 sugerido por UNFCCC (2012).

11

Procedimiento

Estimación de la densidad de la madera de árboles vivos y muertos

Los datos obtenidos al asignar alguna de las tres categorías de descomposición se procesan de la siguiente manera:

Equipo
requerido



Computador

Pasos

1

Asignar el siguiente valor de densidad de madera a las categorías de descomposición (procedimiento 7):

- **Categoría 1:** 0,53 g cm⁻³
- **Categoría 2:** 0,43 g cm⁻³
- **Categoría 3:** 0,29 g cm⁻³

2

Por otro lado, cuando la aguja penetra por completo la pieza de madera en menos de 20 golpes es necesario aplicar la siguiente ecuación para obtener **P**:

$$P = \frac{20}{(g - 0,5)}$$

donde **g** es el número de golpes requeridos.



 Miembros de la comunidad revisando datos colectados en campo

3

Para continuar con los cálculos, a **P** se le debe aplicar la transformación $\text{Log}_{10}P + 1$

$$\rho = 0,68574 - 0,46883 (\log_{10} P + 1) + 0,33388 / + 0,36301 (\log_{10} P + 1) /$$

4

Finalmente, la densidad de la madera se obtiene al aplicar la fórmula propuesta por Navarrete et al. (2016):

donde ρ es la densidad de la madera (**g cm⁻³**) y **P** es la penetración. $l = 0$, si $P \leq 1$; $l = 1$, si $P >$

15

Procedimiento

Estimación del carbono almacenado en la madera muerta

A continuación, se presenta el procedimiento para estimar el volumen y masa de la madera muerta en pie y caída:

Equipo
requerido



Computador

Pasos

Estimación del volumen

- 1 **El volumen** de los árboles muertos en pie se estima utilizando la siguiente fórmula:

$$V_p = \frac{\pi}{4} d_p^2 \times h_p$$

donde V_p es el volumen (m^3) del árbol muerto en pie p , d_p es el diámetro medido en campo (m) de la pieza p y h es la altura total de la pieza p (m)

- 2 **El volumen** de los árboles caídos se estima utilizando la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{\pi^2}{8L} \sum d_c^2$$



📷 Capacitación a miembros de la comunidad sobre métodos de monitoreo en campo

donde V_c es el volumen (m^3) del árbol caído c , d_c es el diámetro (m) en el punto de intersección entre la pieza de madera y el transecto y L es la longitud (m) del transecto. Cuando la pieza de madera caída está inclinada se debe incluir la siguiente corrección:

$$V_c = \frac{\pi^2}{8L} \sum \frac{d_c^2}{\cos \sigma}$$

donde σ es el ángulo de inclinación de la pieza de madera muerta caída.

Estimación de la necromasa y del contenido de carbono

- 1 **La necromasa de la madera muerta se obtiene de la multiplicación del volumen** y la densidad de la madera muerta de cada pieza en pie y caída. Los resultados de necromasa deben ser convertidos a carbono mediante el uso del factor de conversión de 0,47 sugerido por el IPCC (2006). Estos valores de carbono deben ser convertidos, a su vez, a toneladas de CO_2 equivalente por hectárea ($t CO_2e ha^{-1}$), mediante el uso del factor de conversión de carbono a CO_2e de 3,67 sugerido por UNFCCC (2012).

Referencias

1. Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... & Lescure, J. P. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, *145*(1), 87-99.
2. Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology letters*, *12*(4), 351-366.
3. Ellert, B. H., & Bettany, J. R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, *75*(4), 529-538.
4. Fearnside, P. M., & Barbosa, R. I. (1998). Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest ecology and management*, *108*(1-2), 147-166.
5. Gómez-Castro, H., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., & Gonzalez-Reyna, A. (2010). Estimaciones de biomasa aérea y carbono almacenado en *Gliricidia sepium* (lam.) y *Leucaena leucocephala* (jacq.) y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *ITEA*, *106*(4), 256-270.
6. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. *IDEAM. Bogotá, Colombia*.
7. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2017). Inventario Forestal Nacional. Manual de Campo, Versión 3.0.
8. Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4 (Agriculture, Forestry and Other Land Uses). Eds S Eggleston; L Buen-

día; K Miwa; T Ngara; K Tanabe. IGES, Hayama, JP. 679p.

9. Navarrete, D., Sitch, S., Aragão, L. E., Pedroni, L., & Duque, A. (2016). Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices. *Journal of environmental management*, 171, 42-51.
10. Ríos, C. I. (1998). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. *Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV. Cali, Colombia*, 217-229.
11. UNFCCC. (2012). Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011

Formatos para el registro de la información en campo:



Encuentra este documento en su versión web en:





Protocolo para

La estimación y el monitoreo del carbono

en coberturas forestales y no
forestales de Colombia



Implementado por:



Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento
de la República Federal de Alemania

Con el apoyo de:



El ambiente
es de todos

Minambiente

