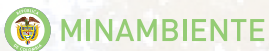


# MANUAL DE CAMPO PARA EL MONITOREO DE CARBONO EN BOSQUES NATURALES

Miguel Ángel Peña Hernández  
Sebastián Ramírez Echeverry  
Juan Fernando Phillips Bernal



**JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN**  
Presidente de la República de Colombia

**GABRIEL VALLEJO LÓPEZ**  
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**PABLO ABBA VIEIRA SAMPER**  
Viceministro de Ambiente

**OMAR FRANCO TORRES**  
Director General - IDEAM  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

**MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ**  
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental – IDEAM

**EDITORES**

Edersson Cabrera Montenegro  
Adriana Paola Barbosa Herrera  
Juan Fernando Phillips Bernal  
Miguel Ángel Peña Hernández  
Natalia Córdoba Camacho  
Lina María Carreño Correa

**DISEÑO DE LA CARÁTULA**  
Sebastián Ramírez Echeverry  
Grupo de Comunicaciones – IDEAM

**DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN**  
Editorial Scripto S.A.S.  
Calle 76 Bis N° 20C – 19  
Teléfono: (57-1) 7562003  
<http://www.scripto.com.co>

**ILUSTRACIONES**  
Ana Cristina Villegas Calderón

**ARCHIVO FOTOGRÁFICO**  
Sebastián Ramírez Echeverry  
Miguel Ángel Peña Hernández  
Archivo IDEAM



**CÍTESE DENTRO DE UN TEXTO COMO:**

Peña *et al.* IDEAM 2014

**CÍTESE COMO:**

PEÑA M.A., RAMIREZ S., PHILLIPS J.F., CABRERA E., CÓRDOBA N. , CARREÑO L.M. 2014. Manual de campo para el monitoreo de carbono en bosques naturales. IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 64 pp.

Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, octubre de 2014, Bogotá D.C., Colombia.

ISBN: 978-958-8067-69-8 - Distribución Gratuita

2014, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM.

Este trabajo fue financiado por la Fundación Gordon y Betty Moore, proyecto “Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia”, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Patrimonio Natural.

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**  
**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM**

**OMAR FRANCO TORRES**

Director General – IDEAM

**NATALIA SILVA ULLOA**

Secretaria General (E) – IDEAM

**CONSEJO DIRECTIVO**

**GABRIEL VALLEJO LÓPEZ**

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**JUAN PABLO RUIZ SOTO**

Delegado de la Presidencia  
de la República

**NATALIA ABELLO VIVES**

Ministra de Transporte

**RAMÓN LEAL LEAL**

Director General

**SIMÓN GAVIRIA MUÑOZ**

Director General

Departamento Nacional  
de Planeación- DNP

Asociación de Corporaciones Autónomas  
Regionales y de Desarrollo Sostenible – ASOCARS

**YANETH GIHA TOVAR**

Directora General

**MAURICIO PERFETTI DEL CORRAL**

Director General

Departamento Nacional  
de Estadísticas-DANE

Departamento Administrativo de Ciencia,  
Tecnología e Innovación –COLCIENCIAS

**NATALIA SILVA ULLOA**

Secretaria Técnica del Consejo

**DIRECTIVAS**

**MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ**

Subdirectora de Ecosistemas  
e Información Ambiental

**JAIRO CÉSAR FÚQUENE RAMOS**

Jefe Oficina Asesora de Planeación

**LUIS CARLOS APONTE PÉREZ**

Subdirector de Estudios Ambientales

**BIBIANA LISSETTE SANDOVAL BÁEZ**

Jefe (E) Grupo de Comunicaciones

**NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ**

Subdirector de Hidrología

**LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA**

Jefe Oficina de Informática

**MARÍA TERESA MARTÍNEZ GÓMEZ**

Subdirectora de Meteorología

**ADRIANA PORTILLO TRUJILLO**

Jefe Oficina Asesora Jurídica

**CHRISTIAN FELIPE EUSCÁTEGUI COLLAZOS**

Jefe Oficina Pronósticos y Alertas

**MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO**

Jefe Oficina Control Interno



## **AUTORES**

Miguel Ángel Peña Hernández  
Sebastián Ramírez Echeverry  
Juan Fernando Phillips Bernal

## **COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN**

### **Edersson Cabrera Montenegro**

Coordinador General

### **Natalia Córdoba Camacho**

Asistente de Coordinación

### **Lina María Carreño Correa**

Apoyo Equipo Coordinación

### **Carlos Alberto Noguera Cruz**

Asistente Administrativo

### **María Saralux Valbuena López**

Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

### **Adriana Paola Barbosa Herrera**

Coordinadora Grupo de Bosques  
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

## **COMPONENTE ESTIMACIONES DE CARBONO**

Miguel Ángel Peña Hernández  
Sebastián Ramírez Echeverry  
Juan Fernando Phillips Bernal

## **GRUPO DE BOSQUES**

Adriana Paola Barbosa Herrera  
Claudia Patricia Olarte Villanueva  
Luis Mario Moreno Amado  
Carolina Rozo Mora

## **COLABORADORES**

Álvaro Javier Duque Montoya  
Adriana Paola Barbosa Herrera  
Claudia Patricia Olarte Villanueva  
Claudia Milena Agudelo Palacio  
Katherine Vásquez Vásquez  
Iván José Luis López Montiel  
Andrés Vélez Echeverri  
Sebastián Ramírez Echeverry

## **AGRADECIMIENTOS**

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, agradece al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a la Fundación Gordon y Betty Moore y a Patrimonio Natural, y a las siguientes entidades que contribuyeron al logro de esta publicación, por el apoyo e información suministrada:

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI.

Proyecto Expedición Antioquia 2013, Diversidad, Dinámica y Productividad de los Bosques de Antioquia.

Proyecto Gobernanza Ambiental para la Amazonia.

Parques Nacionales Naturales de Colombia - PNN.

Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín) - Departamento de Ciencias Forestales.



Proyecto “Consolidación de un Sistema de Monitoreo  
de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental  
y de Manejo en Colombia”

**COMITÉ TÉCNICO**

**Rodrigo Suárez Castaño**

Director de Cambio Climático  
Ministerio de Ambiente y Desarrollo  
Sostenible

**María Claudia García Dávila**

Dirección de Bosques, Biodiversidad  
y Servicios Ecosistémicos  
Ministerio de Ambiente y Desarrollo  
Sostenible

**María Saralux Valbuena López**

Subdirectora Ecosistemas e Información  
Ambiental Instituto de Hidrología,  
Meteorología y Estudios Ambientales  
IDEAM

**Luis Carlos Aponte Pérez**

Subdirector de Estudios Ambientales  
Instituto de Hidrología, Meteorología  
y Estudios Ambientales – IDEAM

**Paulina Arroyo**

Oficial Program Andes Amazon Initiative  
Fundación Gordon y Betty Moore

**Francisco Alberto Galán Sarmiento**

Director Ejecutivo  
Patrimonio Natural Fondo para la  
Biodiversidad y Áreas Protegidas

**Coordinación General**

Edersson Cabrera Montenegro  
Natalia Córdoba Camacho  
Lina María Carreño Correa  
Carlos Alberto Noguera Cruz

**Equipo Técnico Carbono**

Juan Fernando Phillips Bernal  
Miguel Ángel Peña Hernández

**Equipo Técnico Procesamiento  
Digital de Imágenes**

Gustavo Galindo García  
Oscar Javier Espejo  
Juan Carlos Rubiano Rubiano  
Adriana Palacios Manrique  
Kattia Vargas Jurado  
Rosa Helena Lozano Cuevas  
Santiago Palacios Noguera  
Cristian Fabián Forero  
Cesar Augusto Valbuena Calderón  
Juan Pablo Ramírez  
Carol Franco Aguilera  
Edwin Iván Granados  
Sonia Mireya Ortiz Camargo

**Equipo Técnico Componente  
Tecnológico**

María Liseth Rodríguez Montenegro  
Xavier Corredor Llano  
Emilio José Barrios Cárdenas  
Nelly Novoa Castro

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y CONVENCIONES

<b>°C:</b>	Grados centígrados
<b>BA:</b>	Biomasa área
<b>C:</b>	Carbono
<b>cm:</b>	Centímetros
<b>D:</b>	Diámetro normal medido a 1,30 cm del suelo
<b>e.g.:</b>	Significa por ejemplo; del latín <i>exempli gratia</i>
<b>et al.:</b>	Significa ca y colaboradores, y otros; del latín <i>et allí</i>
<b>Exp:</b>	Función exponencial
<b>ha:</b>	Hectárea
<b>i.e.:</b>	Significa esto es; del latín <i>id est</i>
<b>IDEAM:</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>kg:</b>	Kilogramo
<b>ln:</b>	Logaritmo neperiano
<b>mm:</b>	Milímetro
<b>REDD:</b>	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques
<b>t:</b>	Tonelada



# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS.....</b>	<b>13</b>
Delimitación de la parcela.....	13
Marcación y numeración de los árboles .....	18
Mapeo de los árboles.....	20
Medición del diámetro (D).....	21
Medición de alturas (H) .....	26
Colección botánica .....	29
Parcelas temporales .....	29
<b>REMEDIACIÓN PARCELAS PERMANENTES .....</b>	<b>31</b>
Marcación y numeración .....	31
Mapeo .....	32
Medición del diámetro .....	32
Colección botánica .....	33
Definición y establecimiento de la muerte de un árbol.....	34
<b>MONITOREO DE DETRITOS (MADERA MUERTA).....</b>	<b>37</b>
Árboles muertos en pie (AMP).....	37
Detritos gruesos de madera (DGM) .....	39
Detritos finos de madera (DFM).....	42
<b>MONITOREO CARBONO EN SUELOS .....</b>	<b>45</b>
Establecimiento de Calicata .....	45
Muestreo de campo .....	45
Muestreo de suelos al interior de las parcelas establecidas para biomasa aérea ...	46
Muestreo de campo .....	47
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>





## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales, principalmente aquellos ubicados en las regiones tropicales, juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, constituyéndose en uno de los principales reservorios de este elemento (Clark 2007, IPCC 2002). Sin embargo, la transformación que estos ecosistemas han sufrido durante los últimos cincuenta años, ha ocasionado impactos sin precedentes en los servicios ecosistémicos que nos proveen, como lo es el almacenamiento de carbono (Upadhyay *et al.* 2006, Uriarte *et al.* 2010). En este sentido, el monitoreo y cuantificación del carbono que almacenan los ecosistemas forestales, así como su variación temporal, es de gran relevancia para entender su influencia en el ciclo global de este elemento (Clark *et al.* 2001, Clark 2007, Vieria *et al.* 2005), así como para verificar la contribución de diferentes iniciativas, como por ejemplo los proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (REDD+), en la disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En términos generales, el carbono en los bosques se encuentra almacenado en diferentes compartimientos: biomasa aérea y subterránea, detritos (necromasa) y en el suelo (IPCC 2007, GOF-C-GOLD 2009). El carbono atmosférico es capturado y almacenado por las plantas vía fotosíntesis (Aragão *et al.* 2009), posteriormente es destinado a la construcción de la biomasa aérea y subterránea (Clark *et al.* 2001), y finalmente pasa al compartimiento de la necromasa cuando los árboles mueren o pierden sus ramas, hojas etc. En consecuencia, el contenido de carbono que almacenan los ecosistemas boscosos es dinámico, es decir, los procesos naturales de la vegetación como por ejemplo el crecimiento y la mortalidad de los árboles, propicia cambios continuos en los contenidos de carbono dentro y entre los diferentes compartimientos (biomasa, madera muerta, hojarasca y suelos). En este sentido, realizar inventarios que permita estimar el carbono de manera precisa y con bajos niveles de incertidumbre, es un requisito básico cuando se quiere calcular la cantidad de carbono que se dejaría de emitir a la atmósfera, desarrollar proyectos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (*i.e.* RED, REDD), conservación y manejo sostenible de los bosques (*i.e.* REDD+) o de captura del CO<sub>2</sub> por medio del crecimiento de la vegetación existente (GOF-C-GOLD 2009, Rüginitz *et al.* 2009).

El objetivo central de este manual, es proporcionar una serie de procedimientos y técnicas generalmente utilizadas para el monitoreo en campo de los diferentes

reservorios de carbono en los bosques. Este manual, escrito para el público en general, presenta las diferentes actividades y procedimientos de campo para el establecimiento y remediación de parcelas, muestreo de los detritos o madera muerta y del carbono orgánico del suelo.

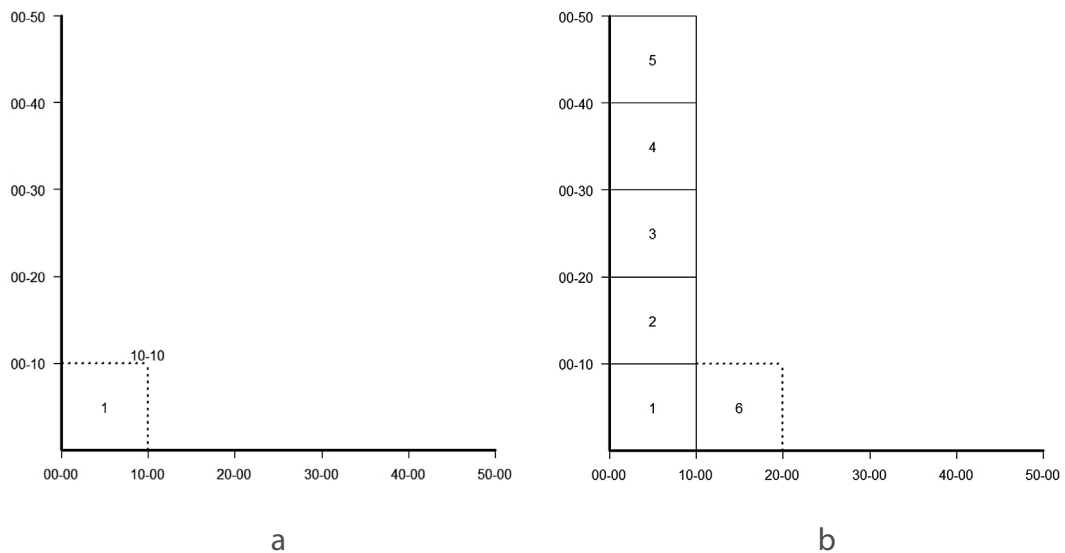
Para la elaboración del presente manual de campo, se tomó como referencia los protocolos previamente desarrollados por el IDEAM: *“Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia”* (Yepes et al. IDEAM 2011) y el *“Protocolo para la remediación de parcelas permanentes y la estimación de los cambios en los contenidos de biomasa-carbono en bosques”* (Peña et al. IDEAM 2013).

## ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS

### Delimitación de la parcela

El levantamiento de cada parcela se debe realizar con brújula de precisión o de nivel, clinómetro o hipsómetro digital, jalones y cinta métrica. Se recomienda que esta labor sea realizada por un grupo de mínimo tres (3) personas, una persona encargada del manejo de la brújula y el clinómetro (medición de la pendiente del terreno), la segunda encargada de ubicar la cinta métrica entre la vegetación para medir la distancia necesaria (e.g. 10 m) y la tercera persona encargada de ayudar a abrir paso, correr la vegetación para permitir la visibilidad entre la brújula y el punto de medición. Durante todos los trabajos de campo se debe evitar cortar la vegetación, los árboles pequeños, ramas y lianas se pueden doblar o mover para realizar las diferentes labores.

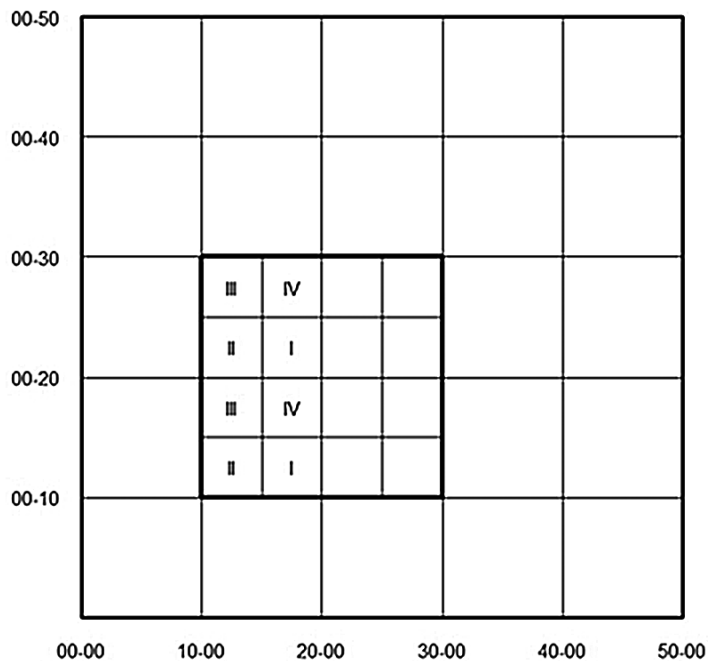
Una vez se define el punto de inicio de la parcela y la dirección (azimut) de esta (ver Yepes *et al.* IDEAM 2011), se procede con la delimitación de los cuadrantes que conforman la parcela. Inicialmente se establecerán las líneas perpendiculares (Ejes X y Y, ver Figura 1a) y posteriormente se delimitan cada uno de los cuadrantes que componen la parcela. Se recomienda establecer la parcela cuadrante por cuadrante, iniciando cada faja en  $Y=0$  (ver Figura 1b), y no definir todo el perímetro de la parcela o la línea de una faja de una vez. Este procedimiento permite balancear y minimizar errores por desviaciones en rumbos a medida que se consideren mayores distancias, así como su distribución de forma homogénea en toda la parcela. Al delimitar el primer y último cuadrante de cada faja, y en general cada vez que se requiera (e.g. cuando se deba realizar un quiebre de línea para evitar un obstáculo como se indica más adelante), se recomienda verificar que la distancia y dirección con respecto a la línea de referencia sea la correcta. Por ejemplo, si el eje Y de la parcela esta con dirección norte (azimut  $0^\circ$ ), al momento de ubicar la brújula en el punto 10-10 para realizar la verificación con respecto al punto 00-10, la dirección entre estos puntos debe ser oeste (azimut  $270^\circ$ ) y la distancia horizontal de 10 m (ver Figura 1a).



**Figura 1.** Establecimiento de la parcela, a) delimitación de los ejes principales (X, Y) y del primer cuadrante; b) secuencia de la delimitación de los cuadrantes y fajas que componen la parcela.

Cada parcela estará conformada por 5 fajas de 10 m × 50 m, cada una de las cuales contiene 5 cuadrantes de 10 m × 10 m, para un total de 25 cuadrantes (Figura 2). En el caso de las parcelas permanentes, cada cuadrante será delimitado por tubos de PVC en los vértices marcados de acuerdo con el sistema cartesiano de coordenadas, se recomienda que los tubos sean de color visible, de 1 ¼" de diámetro y 1 m de longitud. El código de cada cuadrante corresponde a la coordenada del vértice inferior izquierdo, por ejemplo, el primer cuadrante de la primera faja será el cuadrante 00-00, el segundo cuadrante el 00-10 y así sucesivamente hasta el cuadrante 40-40 (Figura 2). Se recomienda delimitar cada cuadrante con cuerda de polipropileno de color amarillo (Figura 3a), lo cual ayuda a la ubicación y localización de cada individuo dentro de los mismos.

Los desarrolladores de cada proyecto deberán decidir si incluyen en sus muestreos los árboles pequeños, es decir aquellos con diámetros (D) entre 1,0 y 10,0 cm ( $1 \leq D < 10$  cm). En caso de que se considere importante, se propone que dentro de la parcela se seleccione un área de 20 m × 20 m (0,04 ha) como lo indica la línea más gruesa de la Figura 2. En esta área, se recomienda dividir los cuadrantes de 10 m × 10 m en cuatro (4) sub-cuadrantes de 5 m × 5 m, los cuales serán denominados, siguiendo la dirección de las manecillas del reloj, con los números romanos I, II, III y IV (Figura 2).



**Figura 2.** Conformación de la cuadrícula en una parcela de 0,25 ha (50 m × 50 m), en la cual se muestra el sistema de coordenadas cartesianas (X, Y) en intervalos de 10 m.

Independiente del tipo de parcela (temporal o permanente), todas las parcelas serán georreferenciadas tomando como punto base la esquina de inicio (00,00), y se georreferenciarán siempre que sea posible las cuatro esquinas de la parcela (Figura 3b). En todos los casos se deberá anotar en la libreta o formulario de campo el *Datum* y la Proyección bajo la cual se toman las coordenadas. Por defecto se sugiere programar el dispositivo GPS (Global Position System) en el sistema de coordenadas geográficas WGS84 para estandarizar la georreferenciación<sup>1</sup>.

Una vez levantada la parcela, se recomienda elaborar un esquema con la ubicación y acceso, e incluir información descriptiva relacionada con la institución o persona custodia de la información, localización, clima, aspectos físicos y biofísicos, entre otros. Un detalle del tipo de información requerida se resume en el Anexo 1.

<sup>1</sup> El Sistema de coordenadas geográficas WGS84 es un estándar internacional para la georreferenciación de registros biológicos, y a su vez es compatible con el sistema oficial de coordenadas para Colombia MAGNA-Sirgas.





**Figura 3.** a) Delimitación de la parcela y cuadrantes con tubos y cuerda de polipropileno; y b) Georreferenciación de los vértices de la parcela.

Algunas consideraciones adicionales que se deben tener en cuenta durante el levantamiento topográfico de las parcelas son:

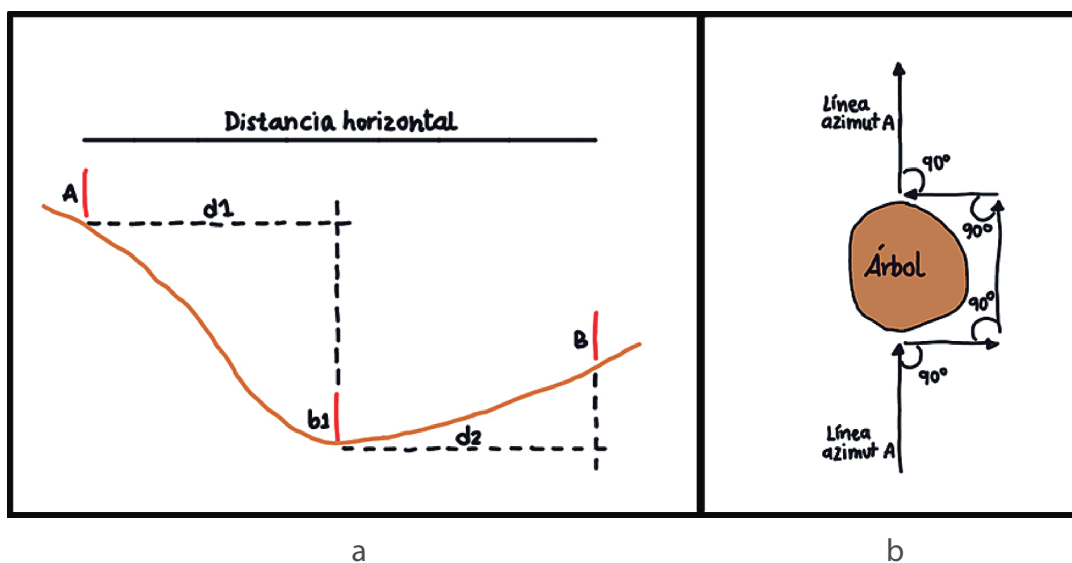
**Corrección de pendiente:** la distancia entre dos puntos, medida a lo largo de una pendiente, siempre es mayor que la distancia horizontal equivalente. Dado que todos los resultados que se obtienen a partir de la información de las parcelas (e.g. biomasa aérea, carbono, área basal, número de individuos o especies, etc.) se expresan en unidad de área, y que esta hace referencia a una proyección en un plano horizontal, durante el establecimiento de una parcela, permanente o temporal, es indispensable realizar la corrección de distancias por pendiente (Condit 1998, Vallejo *et al.* 2005). Por principios trigonométricos, la distancia inclinada o paralela al suelo se calcula mediante la ecuación 1.

$$di = \frac{dh}{\cos(\theta)} \text{ Ecuación 1}$$

Donde:  $di$  es la distancia inclinada (m);  $dh$  es la distancia horizontal (m); y  $\theta$  es el ángulo de inclinación del terreno (pendiente) en grados (configurado en radianes). Con la ayuda de un clinómetro se mide la pendiente que hay desde el lugar donde se encuentra la brújula en dirección al punto donde se desea medir la distancia. Cuando se mide el ángulo de la pendiente, es importante asegurarse que se realiza a lo largo de una línea de observación paralela a la pendiente media del terreno, es decir el clinómetro se debe ubicar a la misma altura del punto de referencia que se está mirando. Para determinar rápidamente la distancia inclinada ( $di$ ) que corres-

ponde a la distancia horizontal ( $dh$ ) deseada, se puede usar una tabla de corrección de pendientes (Anexo 2).

Cuando el operario de la brújula no puede ver la posición del próximo punto, debido a que la pendiente es muy pronunciada o cuando esta no es constante en la distancia a medir, es necesario realizar una o varias mediciones intermedias (Figura 4a). En estos casos la distancia horizontal se debe corregir por segmentos, los cuales se van adicionando hasta obtener la distancia requerida (e.g. 10 m).



**Figura 4.** Delimitación de la parcela y los cuadrantes; a) Procedimiento para realizar la corrección por pendiente en terrenos muy inclinados o con topografía variable; y b) trazado de las líneas cuando hay presencia de obstáculos.

**Presencia de obstáculos:** durante la delimitación de las parcelas es frecuente encontrar obstáculos que bloquean la trayectoria sobre la que se desea tomar la medición, siendo muy común que un árbol no permita la visibilidad entre la brújula y el punto de medición. En estos casos se debe rodear el obstáculo (comúnmente denominado quiebre de línea) de la siguiente forma (Figura 4b):

**Paso 1:** trazar la línea hasta un punto cercano al obstáculo.

**Paso 2:** realizar un desplazamiento de la línea, se debe trazar un ángulo de  $90^\circ$  con respecto a la trayectoria original y medir una distancia tal que permita evitar el obstáculo.

**Paso 3:** se realiza una medición, con la dirección original de la línea, de la distancia que se requiere para alcanzar el lado opuesto del obstáculo.

**Paso 4:** regresar al punto donde llegaría la prolongación de la línea después del obstáculo, se debe medir la misma distancia de desplazamiento del paso 2.

**Paso 5:** se completa la medición, para esto se mide la distancia faltante, es decir, se le resta a la distancia total que se quiere medir (e.g. 10 m) la suma de la distancia del paso 1 y 3 (e.g.  $10 - (4 + 2) = 4$ ).

**Captura de coordenadas GPS:** Siempre que sea posible, se recomienda que para garantizar una mejor precisión de localización de coordenadas bajo dosel se utilice una antena externa conectada al dispositivo GPS, la cual deberá ser elevada a la mayor altura posible, preferiblemente sobre el dosel del bosque.

Asimismo, se recomienda de ser posible mantener el dispositivo GPS operando en modo navegación durante mínimo 15 minutos en cada esquina para la captura de coordenadas. La información capturada por el GPS permitirá en oficina, hacer un promedio de localización con los registros de mayor precisión obteniendo una georeferenciación más precisa.

## Marcación y numeración de los árboles

Se deberán incluir (marcar y numerar) todos los tallos leñosos con un diámetro normal ( $D$  a 1,30 m de altura sobre el nivel del suelo)  $\geq 10$  cm, y  $1 \leq D < 10$  cm en la sub-parcela de 0,04 ha, en los casos que se decida medirlos. Solo se deben incluir aquellos individuos que estén enraizados dentro de la parcela. Si se encuentran árboles en los límites de la parcela, se deben incluir aquellos que tengan por lo menos la mitad del tallo dentro de la parcela (Figura 5). Las palmas y los helechos arbóreos se incluirán cuando sus estipes sean suficientemente altos para cumplir con el límite mínimo en  $D$  a la altura referenciada (1,30 m).

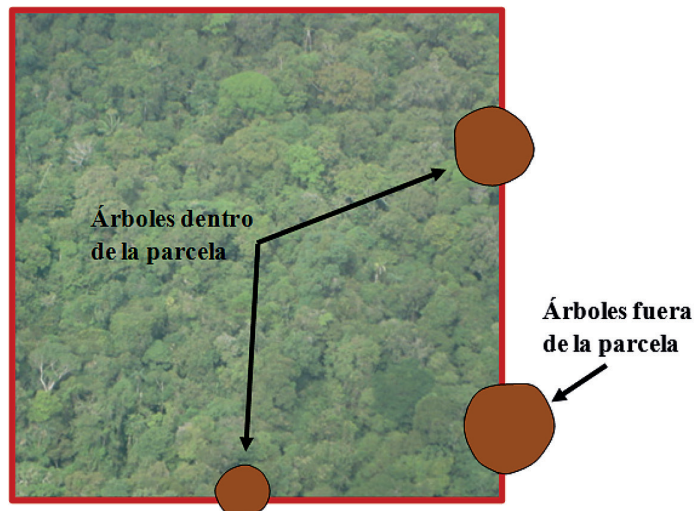


Figura 5. Inclusión/exclusión de individuos en los límites de la parcela.

Para la numeración de los individuos, se debe seguir la misma secuencia dentro de los cuadrantes de  $10 \times 10$  m, para lo cual se recomienda seguir la dirección de las manecillas del reloj (Figura 2), y dentro de las fajas a través de los cuadrantes siguiendo la secuencia con la que se realizó la delimitación de la parcela (Figura 1). Para marcar los árboles se recomienda usar placas de aluminio (e.g. papel foyl) de  $\approx 2 \times 9$  cm, con números manualmente grabados. Para fijar las placas a los tallos se utilizará alambre de



cobre calibre 27, con una longitud de  $\approx 15$  cm para cada placa, donde la perforación de la misma debe ir a  $\approx 1,5$  cm del borde (Figura 6). En el caso de parcelas temporales los árboles podrán ser marcados con tiza o con marcas tenues de pintura.

La forma de sujetar la placa a cada tallo individual variará dependiendo de su tamaño. Así, para los individuos con  $D \geq 6$  cm, la placa se fijará a la corteza mediante un clavo galvanizado en caliente de aproximadamente 2 pulgadas de longitud, cuidando que quede bien enterrado (profundidad  $\geq 2,0$  cm) para que no se caiga (Figura 6a). En cuanto a los individuos pequeños ( $D < 6$  cm), la placa se atará alrededor del tallo con un alambre de cobre de aproximadamente 60 cm de longitud, procurando que sea lo más visible posible (Figura 6b). Adicionalmente, se recomienda que cada placa lleve un recuadro de cinta reflectiva, con el fin la placa sea más visible en medio de la vegetación.



a

b

**Figura 6.** Marcación de los individuos en campo, a) individuos con  $D \geq 6$  cm; y b) individuos con  $D < 6$  cm. En el recuadro inferior izquierdo se presenta un esquema de las placas que se utilizan.

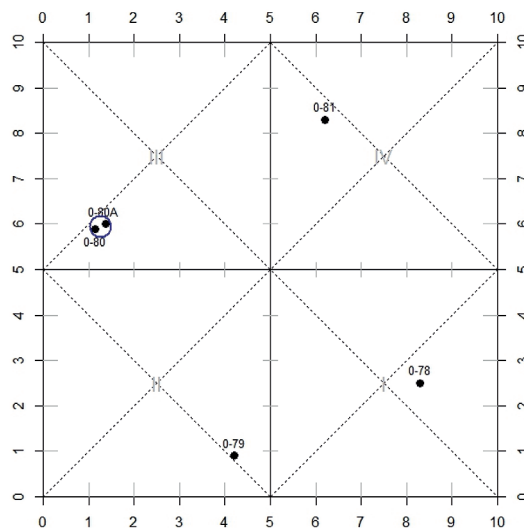
Es importante que el clavo quede ligeramente inclinado hacia abajo para que la placa cuelgue y no haga contacto con la corteza (Figura 6a); con esto se previene que la placa sea rápidamente tragada por la corteza debido al crecimiento del cambium vascular. Se debe verificar que la cabeza del clavo sea lo suficientemente grande para sujetar la placa y evitar que se caiga. Preferiblemente, los clavos se deben ubicar a la misma altura (1,8 m) y orientadas en la misma dirección (e.g. con la cabeza del clavo hacia el sur o en dirección contraria a la pendiente).

Las siguientes consideraciones especiales se deben tener en cuenta al momento de marcar y medir los árboles:

- Árboles recientemente quebrados o árboles caducifolios pueden estar completamente sin hojas, por lo que es necesario chequearlos cuidadosamente: estos están vivos y deben ser plaqueteados mientras que el cambium bajo la corteza siga con vida.
- En el caso de árboles con tallos múltiples, se debe seleccionar el tallo más grande para ser plaqueteado. Los demás tallos, considerados secundarios, serán marcados con pintura asignándole el número del tallo principal y una letra (en la sección de medición del D se presentan más detalles al respecto). Para efectos de la cuantificación de biomasa, cada tallo se considerará de forma independiente.
- Los árboles caídos deben ser chequeados cuidadosamente para ver si todavía están vivos. Si es así, deben ser plaqueteados en la base del árbol; de lo contrario, deben ser registrados como árboles muertos.

## Mapeo de los árboles

Este procedimiento consiste en obtener la ubicación de todos los individuos de la parcela al interior de cada cuadrante de 10 m × 10 m. Para esto, se debe estimar la posición de cada individuo (coordenada X, Y) en un mapa o esquema del cuadrante, indicando el número de la placa de cada individuo. Se recomienda que los puntos que representan los tallos múltiples en el mapa sean encerrados en un círculo. Para facilitar la ubicación de los individuos, el formulario debe tener líneas perpendiculares graduadas cada metro (Figura 7; Anexo 3, F5). Para realizar el mapeo de los individuos con D < 10 cm (sub-parcela de 0,04 ha), es preferible utilizar un formulario de mapeo para cada sub-cuadrante de 5 m × 5 m.



**Figura 7.** Mapa de un cuadrante de 10 m × 10 m, con líneas graduadas cada metro. Los puntos corresponden a la ubicación de los individuos en el cuadrante, con su respectivo número.



La marcación, numeración y mapeo de los individuos arbóreos se puede realizar simultáneamente por un solo equipo de trabajo de mínimo tres (3) personas. Una persona estaría encargada de ubicar (mapear, con la colaboración de los otros integrantes del equipo) los individuos en el formulario de cada cuadrante (Anexo 3, F5), e indicar el número de placa que le corresponde a cada tallo según la secuencia que se indicó anteriormente. La segunda persona se encarga de poner los clavos y la tercera de amarrar la placa que le corresponde a cada individuo.

## Medición del diámetro (D)

El diámetro de los árboles es medido con corteza y se recomienda adoptar la altura estándar de 1,30 m como sitio de medición, tomada desde el punto donde el tallo principal sale del suelo. Para localizar de forma rápida el sitio de medición, se sugiere emplear una vara o tubo de PVC de 1,30 m de altura. Para realizar la medición se deben emplear instrumentos de acuerdo al tamaño de los individuos que se van a medir. En este sentido, se recomienda emplear calibrador (pie de rey) para los individuos pequeños ( $D < 6$  cm) y cinta métrica o forcípula (calibrador forestal) para los individuos grandes ( $D \geq 6$  cm).

Antes de realizar la medición del D se debe limpiar con cuidado la corteza del individuo en el sitio donde se tomara la medida, esto con el fin de eliminar musgos o epifitas que interfieran con la misma. Se recomienda usar guantes gruesos de cuero, costales de fibra o de fique, los cuales no causan heridas en la corteza. Una vez limpia la superficie en los individuos, se procede a tomar la medición y posteriormente a dibujar el perímetro (borde superior de la cinta métrica) con tiza de color visible, debajo de la cual se pintará una franja con un ancho aproximado de 2,5 cm (Figura 8). La pintura debe ser de buena adherencia, se recomienda pintura asfáltica o pintura reflectiva y de secado rápido, para garantizar que la pintura permanezca adherida al tronco durante varios años y que las mediciones futuras se lleven a cabo en el mismo lugar.



**Figura 8.** Medición del diámetro con cinta métrica, marcaje del sitio de medición con tiza y posteriormente con pintura asfáltica.

## Aclaraciones:

- Cuando se emplea cinta métrica para realizar la medición del diámetro, en realidad se está midiendo la circunferencia de ese lugar del árbol (perímetro). A partir de esta medida, se calcula el diámetro empleando la Ecuación 2:

$$D = \frac{CAP}{\pi} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:  $D$  es el diámetro (cm),  $CAP$  es la circunferencia medida en campo (cm) y  $\pi$  es una constante matemática ( $\pi \approx 3,1416$ ).

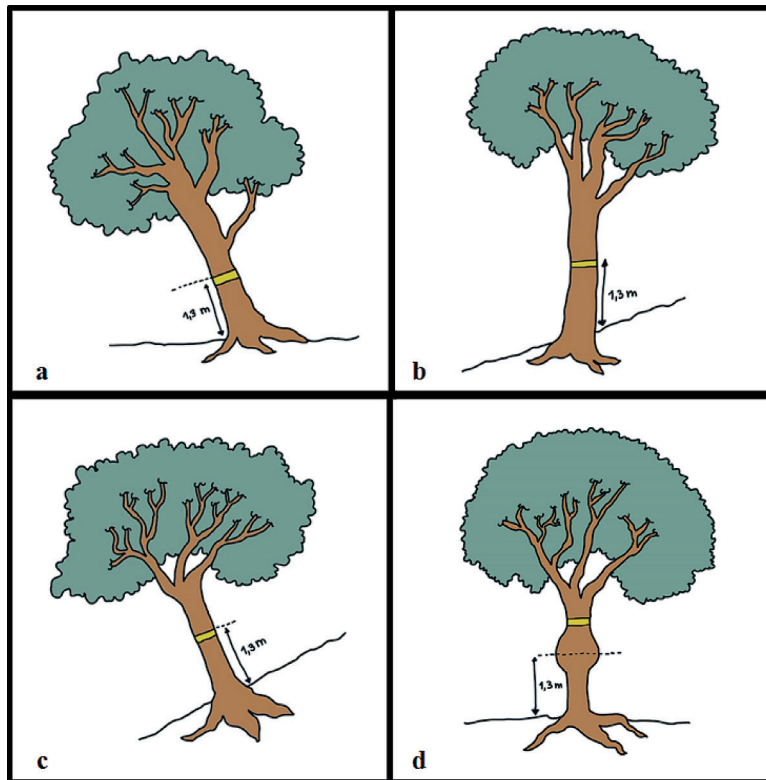
- Cuando se emplea la forcípula o calibrador forestal (Figura 9), debido a que en realidad los tallos no son circulares a la altura donde se mide el  $D$ , se recomienda realizar dos mediciones perpendiculares y posteriormente calcular el diámetro promedio. En estos casos se debe pintar únicamente los puntos de contacto de la forcípula sobre el tallo y consignar la respectiva observación en el formulario de campo.



**Figura 9.** Medición del diámetro con forcípula o calibrador forestal.

Se debe tener en cuenta que al momento de realizar las mediciones en campo, la condición estándar para la medición del  $D$  indicada anteriormente (1,3 m sobre el nivel del suelo), no siempre se puede cumplir. En este sentido, se deben tener en cuenta recomendaciones adicionales para la medición del  $D$  en casos especiales como árboles localizados en pendientes, árboles inclinados, árboles con bambas, protuberancias u otras irregularidades, árboles con tallos múltiples, tallos quebrados, entre otros (Condit 1998, Vallejo *et al.* 2005). A continuación se presentan algunas recomendaciones para realizar la medición del  $D$ .

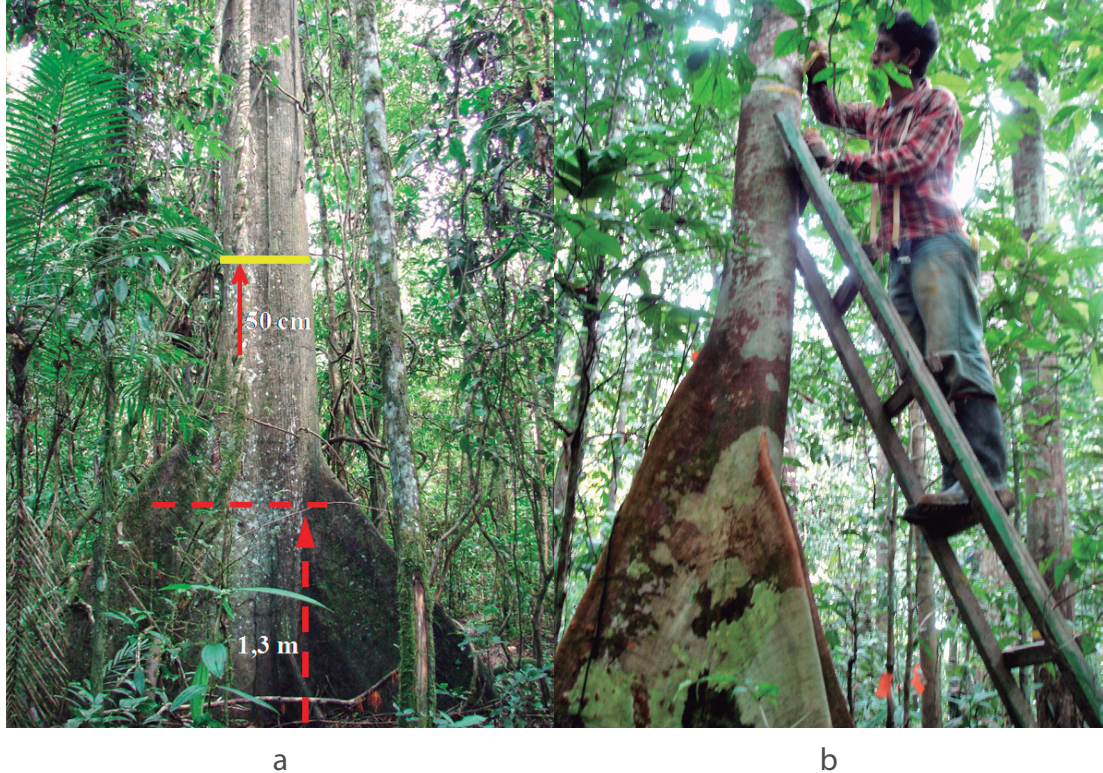
**Árboles inclinados o en pendiente:** cuando el tronco de un árbol está inclinado, parcial o totalmente, la medición de los 1,3 m se debe realizar por el lado inferior del tallo (Figura 10a). Adicionalmente, se debe indicar en las observaciones el código correspondiente a dicha condición, L: tallo inclinado o P: postrado (Tabla 1). El punto de medición de individuos en terrenos inclinados, se debe medir por el lado superior de la pendiente (Figura 10b, c).



**Figura 10.** Casos especiales en la medición del diámetro: a) tallo inclinado en terreno plano; b) tallo vertical en terreno inclinado; c) tallo inclinado en terreno inclinado; y d) tallo con protuberancias, deformaciones o nudos.

**Árboles con bambas, raíces zancos (fúlcreas) y deformaciones:** en los casos que el tallo presente contrafuertes, bambas o aletones, raíces fúlcreas o zancos, entre otras irregularidades, la medición del D se debe realizar 50 cm por encima de la última raíz o del final de la bamba o deformación (Figura 11). En el formulario de campo se deben anotar la altura del punto de medición (PM) del D y el motivo del cambio en este (Tabla 1, Anexo 3 F1 y F2). Si el tallo presenta protuberancias, nudos o algún tipo de deformación a 1,3 m, el D se debe medir por encima de la deformación, en donde el tallo sea más cilíndrico (Figura 10d).



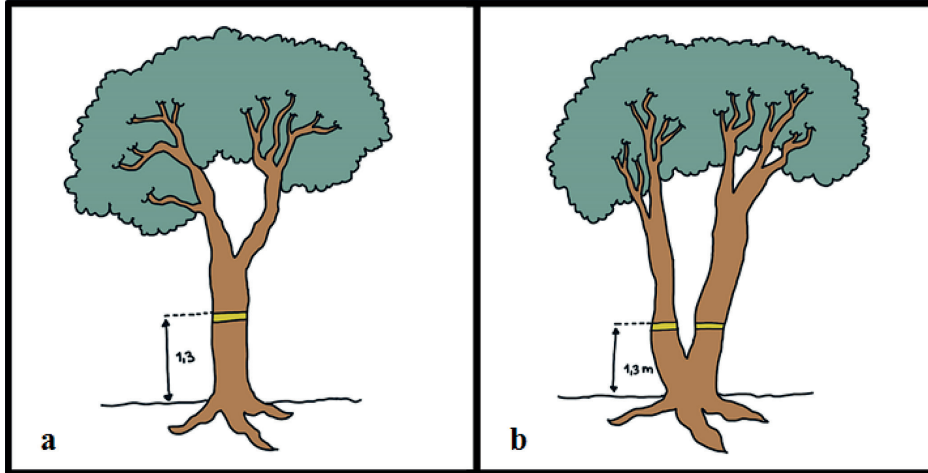


**Figura 11.** Medición del diámetro en árboles con bambas o aletones. La línea amarilla indica el punto óptimo de medición, en algunos casos es necesario utilizar escaleras.

**Presencia de lianas o plantas estranguladoras:** las lianas, plantas estranguladoras, así como raíces epífitas, deben ser retiradas del tronco, no cortadas, de tal modo que permitan que la cinta métrica pase por debajo de estas. Si el espacio para la cinta métrica es reducido, esta se pasa por debajo de las enredaderas y/o raíces sobre el tallo y se mueve hacia adelante y atrás para limpiar el punto de medición de restos de corteza o detritos. En aquellos casos que no es posible pasar la cinta métrica, se debe utilizar una forcípula para realizar la medición del D y anotar la observación en el formulario de campo.

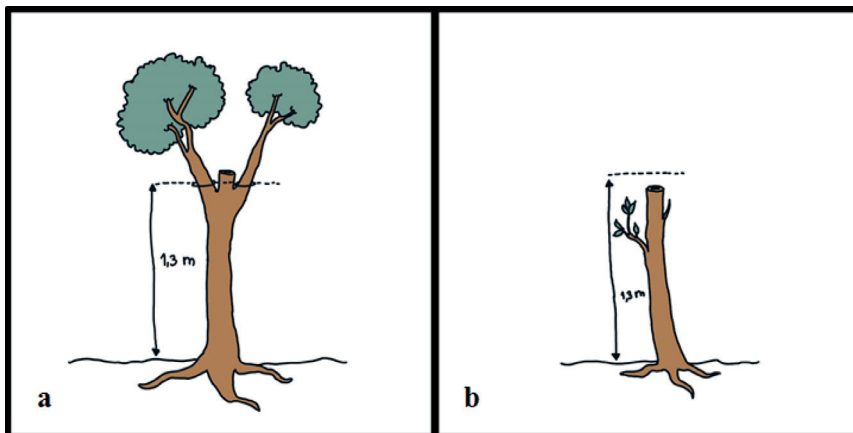
**Tallos múltiples:** las plantas que tienen dos (2) o más tallos, ramas o chupones conectados por debajo de 1,3 m y que cumplan con el D mínimo de inclusión (Figura 12), incluso los que se conectan subterráneamente, requieren un tratamiento especial para su marcación, mapeo y medición (Condit 1998).

Se debe seleccionar uno de los tallos, generalmente el más grande, como el tallo principal (TP), este debe ser plaqueteado con el número consecutivo que le corresponde y los demás tallos, considerados secundarios, deben ser marcados con el número del TP y una letra. En los formularios de mapeo, los tallos múltiples deben ser encerrados en un círculo para facilitar su posterior ubicación (ver Figura 7). Para realizar la medición individual del D de cada tallo, se deben seguir las consideraciones indicadas anteriormente.



**Figura 12.** Medición del diámetro en árboles bifurcados (tallos múltiples); a) árbol bifurcado arriba de los 1,3 m, solo se mide un tallo, y b) árbol bifurcado por debajo de los 1,3 m, se miden los dos tallos.

**Rebrotos:** si un tallo está quebrado por debajo de 1,3 m, pero presenta rebrotos o chupones que cumplen con el D mínimo de inclusión a 1,3 m (Figura 13), estos deben ser incluidos y se debe poner la respectiva anotación en el formulario de campo (ver Tabla 1).



**Figura 13.** Medición del D en individuos con rebrotos por debajo de los 1,3 m; a) cumplen el D mínimo de inclusión, y b) con D menor (no se incluye en el muestreo).

**Palmas y helechos arbóreos:** muchas palmas y helechos arbóreos pueden cumplir el D mínimo de inclusión, pero sus estipes (tallos) no alcanzan la altura de 1,3 m. Es importante tener en cuenta que el D no se debe medir sobre los peciolo de las hojas o sobre el pseudoestipe.

**Tabla 1. Códigos a emplear durante el establecimiento de parcelas permanentes y temporales; y la remediación de parcelas permanentes.**

Código	Uso	Información adicional
Q	Tallo quebrado por encima del DAP	
I	Tallo irregular en el punto de medición	
B	Contrafuertes	
L	Tallo inclinado	
P	Postrado	
R	Rebrote	
TM	Tallos múltiples	Placa Tallo principal (TP)
TP	Tallo principal	Placa (s) Tallo (s) multiple (s)
PM	Punto de medición alternativo, que no es 1,30 m	Altura del PM
C	Cambio del PM anterior	Nuevo PM
MP	Muerto en pie	
MQ	Muerto quebrado o partido	
MC	Muerto caído de raíz	
MD	Muerto desaparecido	
MX	Muerto cortado	

## Medición de alturas (H)

La altura total de un individuo se refiere a la altura del último meristema apical de palmas y helechos arbóreos o de la última hoja del árbol. La medición de la altura se puede realizar de forma directa o indirecta. La medición directa es posible de realizar en individuos caídos o derribados, en los cuales se puede emplear una cinta métrica para realizar la medición. De igual forma, en individuos con altura  $\leq 15$  o 20 m, según las características del instrumento que se utilice, se puede emplear una vara extensible (Figura 14a), la cual permite una medición con un bajo error asociado. Para árboles más grandes, la altura es estimada de manera indirecta, usando instrumentos como clinómetros o hipsómetros (Figura 14b).

Se recomienda medir la altura total de los árboles al 40% de todos los individuos que se registren dentro de la parcela (Yepes *et al.* IDEAM 2011). Para evitar un sesgo en la selección de los individuos que se miden en campo, se pueden utilizar diferentes reglas que permiten una fácil selección aleatoria, por ejemplo, medir la altura de cada tercer árbol inventariado y realizar el posterior ajuste de las mediciones faltantes (*e.g.* seleccionar los individuos con las placas 1, 4, 7, 10, etc.).



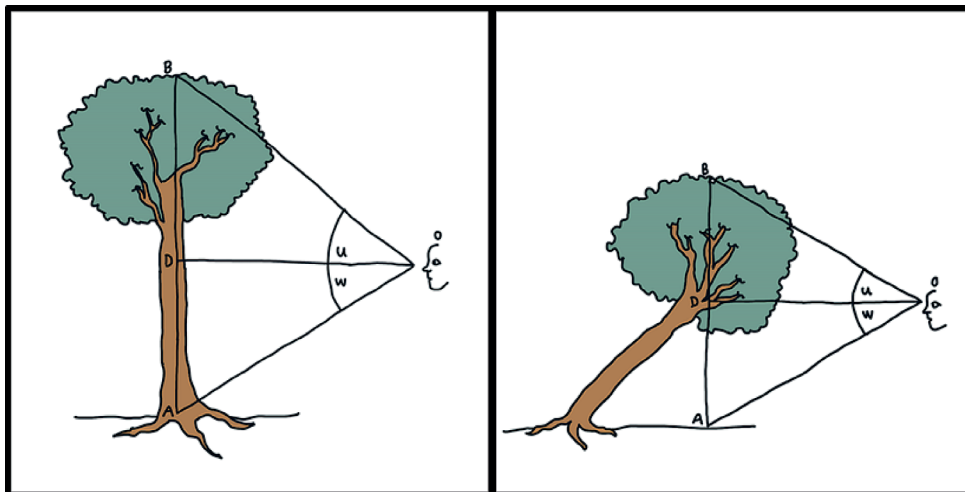


a

b

**Figura 14.** Instrumentos utilizados para la medición de la altura: a) vara extensible graduada; b) hipsómetro digital.

Durante la medición de las alturas se debe tener especial cuidado en no confundir la altura con la longitud de los individuos. En los casos que los árboles son rectos estas dos medidas coinciden (Figura 15a). Sin embargo, en muchos casos los individuos se encuentran inclinados, y se debe medir la altura vertical de la copa sobre el suelo y no la longitud del individuo (Figura 15b). La medición de la altura de palmas y helechos arbóreos, se toma desde la base del individuo hasta el punto donde inicia la corona de hojas (Figura 16).

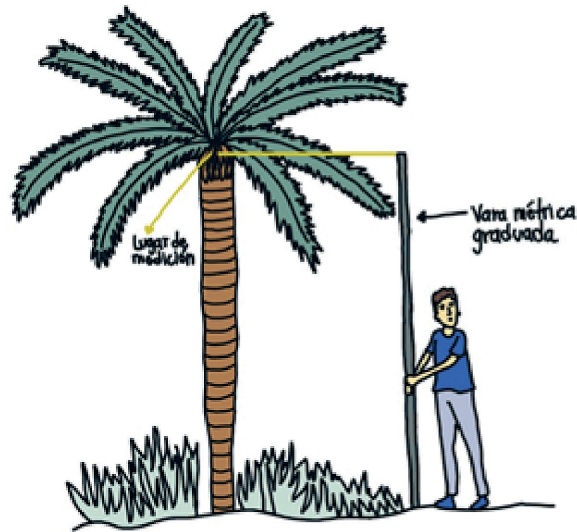


a

b

**Figura 15.** Medición de la altura total en árboles a) rectos y b) inclinados.

Por ningún motivo se deben realizar estimaciones visuales de esta variable. Solo en caso donde se usa una altura de referencia, y el objetivo es hacer una descripción o análisis cualitativo. En la medición de alturas con instrumentos como los clinómetros, los cuales miden ángulos para posteriormente realizar los cálculos correspondientes a partir de principios trigonométricos (Figura 15), se deben tener en cuenta algunas recomendaciones adicionales:



**Figura 16.** Medición de la altura total en palmas y helechos arbóreos.

- La persona que toma la medición se debe ubicar en un punto donde pueda observar de manera simultánea la base y la copa del árbol.
- Para evitar errores en la medición de los ángulos, la distancia entre el árbol y la persona debe ser similar a la altura a medir.
- Se sugiere usar siempre el punto con pintura del PM como referencia del ángulo inferior.
- El ángulo máximo recomendado para la visualización de la copa es de  $45^\circ$ .
- Algunos equipos especifican la distancia horizontal a la cual se debe ubicar la persona para realizar la medición (e.g. 15, 20 m).
- Dependiendo del instrumento, se debe tener especial cuidado en anotar los signos (+ o -) del ángulo.
- Se recomienda consultar la guía de uso del instrumento a utilizar para mayor claridad en su manejo.

## Colección botánica

A cada individuo de cada especie diferente, marcado y medido dentro de la parcela, se le tomará su respectiva muestra botánica siguiendo las técnicas estándares de procesamiento de material vegetal para un herbario (Ricker & Daly 1998). Todas las colecciones botánicas serán prensadas en papel periódico debidamente marcado con el código de la parcela y el número (placa) de cada individuo. Posteriormente, las muestras se deben amarrar en paquetes, los cuales se almacenan en bolsas plásticas y se humedecen con alcohol industrial, para que se conserven en buen estado mientras son enviadas a un herbario para su identificación taxonómica.

Al realizar las colecciones botánicas, es de gran importancia realizar anotaciones claras y detalladas de las principales características del individuo, las cuales son cruciales para la posterior identificación en herbario (ver Anexo 3, F4). En especial, se recomienda anotar las características que no se conservan en la muestra, como olor, color, presencia de exudados, agujones en el tronco o estructuras especiales, entre otras.

Es importante resaltar que siempre que no se tenga completa certeza sobre una especie, se debe tomar una muestra para su determinación en herbario, es frecuente encontrar individuos que parecen pertenecer a la misma especie, pero al momento de examinar las muestras en herbario son diferentes. Se debe tener especial cuidado al usar nombres comunes, pues es muy común que varias especies de un mismo género, incluso de géneros o familias diferentes, se denominen con el mismo nombre.

## Parcelas temporales

En el caso de las parcelas temporales, se seguirán los mismos procedimientos de establecimiento descritos anteriormente (excepto la delimitación con tubos y cuerdas de polipropileno, la marcación y mapeo de los árboles), georreferenciación, medición de los árboles y colección de muestras botánicas. La marcación de los individuos se realizará únicamente con tiza o marcas pequeñas de pintura. En la Tabla 2 se resumen los procedimientos que se realizarán según el tipo de parcelas (permanentes o temporales).

**Tabla 2. Actividades desarrolladas en parcelas permanentes y temporales.**

Actividad	Tipo Parcela	
	Permanente	Temporal
Establecimiento de la parcela	Brújula de precisión, clinómetro y cinta métrica	Brújula de precisión, clinómetro y cinta métrica
Marcación de la parcela	Con tubos, cuerda de polipropileno y cinta reflectiva	Con estacas temporales en las esquinas
Delimitación de cuadrantes	Si	No
Georreferenciación	Con GPS, coordenadas cuatro esquinas	Con GPS, coordenadas cuatro esquinas
Marcación de los árboles	Con pintura amarilla para la medición del diámetro y placas de aluminio	Solo tiza blanca para diámetro y numeración
Medición de diámetros	D a los 1,30 m con cinta métrica o forcípula	D a los 1,30 m con cinta métrica o forcípula.
Mapeo de los árboles en cuadrantes	Si	No
Medición de alturas	Si, 40% de los árboles registrados	Si, 40% de los árboles registrados
Colección muestras botánicas	Si	Si
Colección muestras de suelos	Si	Si

## REMEDIACIÓN PARCELAS PERMANENTES

Las principales actividades durante la remediación de parcelas permanentes son: *i)* remediación de los árboles incluidos en el censo anterior, *ii)* registrar los individuos muertos entre los censos; *iii)* mapear, medir e identificar nuevos individuos; *iv)* realizar labores de mantenimiento de la infraestructura general de la parcela, así como depuración de la información (*e.g.* colección de muestras botánicas de individuos no identificados completamente en los censos anteriores). Los métodos empleados durante la remediación de las parcelas deben ser similares a los empleados en su establecimiento, con el fin de no generar confusiones o contradicciones que conlleven al detrimento de la información (Peña *et al.* IDEAM 2013). Previo al trabajo en campo, es indispensable conocer detalladamente los procedimientos empleados durante el establecimiento de la parcela y la información obtenida en el(los) censo(s) anterior(es), lo cual permitirá realizar una estimación del tiempo y los materiales requeridos para la remediación.

La primera actividad que se realiza durante la remediación de parcelas permanentes, es la de mantenimiento de infraestructura (*e.g.* tubos, placas). Se debe revisar el estado actual de la grilla (tubos) existente, en el caso que se encuentren tubos partidos, éstos deben ser remplazados, y los tubos movidos o que no se encuentren (perdidos) deben ser ubicados siguiendo los procedimientos descritos anteriormente.

### Marcación y numeración

Los individuos a incluir durante una remediación son todos aquellos que entre los censos alcanzaron un  $D \geq 10$  cm en toda la parcela, y aquellos que alcanzaron un  $D \geq 1$  cm en la sub-parcela de regeneración o sotobosque (0,04 ha). La secuencia a seguir dentro y entre cuadrantes, debe ser igual a la utilizada durante el establecimiento. Antes de marcar un individuo como un nuevo ingreso se debe confirmar que éste no fue incluido en censos anteriores. Durante esta actividad, se deben remplazar las placas perdidas y aquellas que estén incrustadas en el tallo debido al crecimiento del cambium vascular. Para remplazar las placas perdidas se debe estar completamente seguro del código que le pertenece a cada árbol, para lo cual es

muy útil contar con los mapas que incluyen la ubicación espacial de los individuos en la parcela (ver Peña *et al.* IDEAM 2013).

El código de la placa que identifica a cada individuo debe estar compuesto por dos números separados por un guion (Figura 6); el primer número indica el censo en el cual se incluyó el individuo en el monitoreo, donde cero (0) corresponde al establecimiento de la parcela (*e.g.* 0–145), uno (1) a la primera remediación, dos (2) a la segunda remediación y así sucesivamente. El segundo número corresponde al código que se le asigna a cada individuo. Por ejemplo, si durante el establecimiento de una parcela permanente se marcaron y midieron 455 individuos, el primer individuo que ingrese durante la remediación se marcará con la placa 1–456. Este procedimiento permite identificar rápidamente en que censo de la parcela ingresó cada árbol y previene repetir números.

## Mapeo

Los formularios de mapeo para la remediación de parcelas incluyen la ubicación al interior de cada cuadrante de todos los individuos monitoreados en los censos anteriores. En estos mapas se ubicarán los nuevos ingresos y se anotarán posibles cambios de posición de los individuos mal mapeados en el censo anterior. Los procedimientos de mapeo siguen la misma secuencia dentro y entre cuadrantes utilizada en el primer censo. Con el objetivo de permitir una rápida identificación de los nuevos ingresos en los formularios, éstos se deben encerrar dentro de un círculo.

## Medición del diámetro

El D de los individuos monitoreados en censos anteriores, debe ser medido en el mismo lugar en el cual se realizó la medición anterior, es decir, sobre la marca dejada con pintura en el tallo (ver Figura 8). Para la medición del D de los nuevos ingresos se siguen los procedimientos indicados anteriormente para el establecimiento de parcelas. Durante este procedimiento se debe tener especial precaución si el nuevo D es menor al anterior o si presenta un incremento inusual, en cuyo caso se debe observar el estado actual del individuo en búsqueda de una posible explicación a la inconsistencia, verificar y registrar la medición obtenida. Para esto, se recomienda incluir en el formulario de remediación el D que tenía cada individuo durante el último censo y observaciones adicionales que se consideren de interés, como por ejemplo la altura del punto de medición. Cuando la medición del D se realiza con una cinta métrica (*i.e.* circunferencia), se recomienda que en el formulario de remediación se incluya la circunferencia en lugar del D, esto con el fin de agilizar la verificación de las mediciones.

Se recomienda seguir la secuencia espacial de los códigos o números de placas de los individuos antiguos, lo cual permite identificar más fácil los individuos que han perdido su placa y para evitar que se queden árboles sin medir. La persona encargada de anotar en los formularios la información colectada (e.g. el D), debe revisar que no falte ningún individuo por censar, o información y observaciones relevantes, como por ejemplo árboles volcados, secos, etc.

En los casos de individuos con raíces fúlcreas, bambas o aletones, entre otras irregularidades del tronco, cuyo punto de medición original está a menos de 30 cm de la irregularidad, además de medir el diámetro en el punto de medición original, se debe medir nuevamente 50 cm por encima de la última raíz o del final de la bamba, y pintar solo el sitio de la nueva medición (Condit 1998). En estos casos, se toma el dato obtenido en el antiguo punto de medición para el cálculo del crecimiento en el período actual y el nuevo punto de medición para un futuro monitoreo. Es importante resaltar la necesidad de anotar de forma clara en los formularios de campo los cambios realizados y demás observaciones relevantes.

Es probable que durante la remediación, algunos individuos no presenten marcas de pintura en el punto donde se realizó la medición anterior del D, lo cual puede ser causado por pérdida de la corteza (Figura 17) u otras circunstancias, en estos casos es importante tener en el formulario de campo la altura a la cual se realizó la medición, principalmente cuando está fue tomada en un punto diferente a 1,30 m.

## Colección botánica

Los procedimientos para la colección de muestras botánicas de los nuevos individuos son iguales a los descritos anteriormente para el establecimiento de la parcela. Se recomienda coleccionar muestras botánicas de aquellos individuos no determinados completamente durante los censos anteriores, en especial si se encuentran en estado fértil. En los formularios de campo para la remediación del diámetro, se recomienda incluir una columna con el nombre científico de cada individuo, lo cual puede ser de gran utilidad para la identificación taxonómica de los ingresos, encontrar posibles errores en la asignación del nombre científico, e identificar los individuos que a la fecha no tienen una determinación taxonómica completa.





Figura 17. Árbol con desprendimiento de corteza.

## Definición y establecimiento de la muerte de un árbol

Un árbol se considera muerto si no tiene hojas, rebrotes y está claramente muerto, o si falta por completo (Condit 1998). Para evitar considerar un árbol vivo como muerto, es recomendable revisar que no presente rebrotes, y adicionalmente, inspeccionar cuidadosamente el cambium por debajo de la corteza para ver si aún sigue vivo. Si el individuo presenta algún signo de vida o no se tiene la completa certeza de que realmente está muerto, se deberá considerar como vivo y anotar las observaciones en el formulario de campo (Condit 1998, Chao & Phillips 2005, Chao *et al.* 2009).

El tipo de muerte de un árbol se considera una característica de gran importancia para ser anotada en campo, ya que puede ayudar a identificar los factores que causaron su muerte. Adicionalmente, el tipo de muerte permite identificar los procesos, naturales o antrópicos, que causan los cambios en los contenidos de biomasa, específicamente en el caso de las pérdidas de biomasa, ya que permite establecer si la muerte de un árbol es inducida por senescencia natural o perturbaciones como incendios, ataques de insectos, fenómenos climáticos extremos, aprovechamiento forestal, etc. Para registrar y categorizar el tipo de muerte de un árbol se utilizan diferentes criterios (Condit 1998, Chao & Phillips 2005), entre los cuales, los más importantes y utilizados son:

**Muerto en pie (MP):** son aquellos individuos que tienen ramas y/o copa adherida en su tronco en pie, o aquellos con escombros de la copa esparcidos alrededor del

tronco. El disturbio que se genera en el bosque por este tipo de muerte es menor al que generan árboles quebrados o desraizados. Se debe verificar que el tronco no presente ningún signo vital, como por ejemplo hojas y/o rebrotes; o que al inspeccionar el cambium por debajo de la corteza se observe alguna señal que el árbol continúa vivo.

**Muerto con tronco quebrado o partido (MQ):** individuos con el tronco partido y caído con la copa adherida al tronco, el lugar de ruptura se caracteriza por tener astillas, se incluyen árboles quebrados cerca del nivel del suelo (Figura 18a). Al igual que con árboles muertos en pie, se debe revisar cuidadosamente la sección del tronco que queda en pie, pues en algunos casos se podrían presentar rebrotes y en consecuencia el árbol seguiría vivo, en este caso se debe indicar en el formulario con el código Q (Tallo quebrado, ver Tabla 1).



**Figura 18.** Tipo de muerte de un árbol; a) Muerto con tronco quebrado o partido (MQ), b) Caído de raíz (Desraizados) (MC).

**Caído de raíz o desraizados (MC):** los árboles desraizados tienen la raíz, o una parte de ésta, fuera del suelo, y presentan suelo adherido entre las raíces, por lo cual ocasionan una alta perturbación edáfica (Figura 18b). Los árboles caídos de raíz pueden permanecer vivos durante periodos largos de tiempo después de caer o incluso rebrotar. En consecuencia, se deben revisar las ramas y tronco, para verificar su estado, si el árbol continúa vivo, se debe indicar en el formulario con el código correspondiente, es decir L (Tallo inclinado) o P (Tallo postrado, ver Tabla 1).

**Desaparecidos (MD):** son aquellos individuos que no se pudieron encontrar en la ubicación previamente registrada, se asumen como muertos aunque no se encuentren fragmentos de él. Cuando el tiempo entre censos es largo (e.g. mayores a 5 años), es probable que incluso árboles grandes se descompongan por completo.

**Cortado (MX):** un árbol cortado es relativamente fácil de diferenciar de otro tipo de muerte, ya que en el tocón quedan marcas evidentes de las herramientas utilizadas en la tala (e.g. motosierra). Adicionalmente, durante un tiempo después se pueden observar señales en la vegetación circundante y residuos del aprovechamiento.



## MONITOREO DE DETRITOS (MADERA MUERTA)

El muestreo de los detritos de madera se ajustará al diseño de la unidad de muestreo (parcela) recomendado para realizar las estimaciones de carbono en la biomasa aérea. Los detritos de madera incluyen árboles muertos en pie (AMP) o caídos, trozos de madera, ramas grandes y raíces aéreas gruesas o expuestas por la caída de un árbol. Un árbol muerto en pie es aquel cuyo tronco no ha caído y la base de su tronco no se ha movido significativamente de su lugar original (Larjavaara & Muller-Landau 2010). Los detritos de madera caídos se dividen en detritos finos de madera (DFM;  $2 \text{ cm} \leq D < 20 \text{ cm}$ ), y detritos gruesos de madera (DGM;  $D \geq 20 \text{ cm}$ ).

### Árboles muertos en pie (AMP)

Se incluirá dentro de esta categoría a todos los árboles muertos en pie con  $D \geq 10 \text{ cm}$ , así como los tocones que no alcancen 1,3 m de altura, presentes en la parcela de  $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ . Se recomienda iniciar el recorrido en el punto 05-00 en dirección sur – norte, hasta llegar al punto 05-50; desde este punto se pasa al punto 15 - 50 para continuar con el recorrido en dirección norte – sur. El recorrido completo se muestra en la Figura 19.

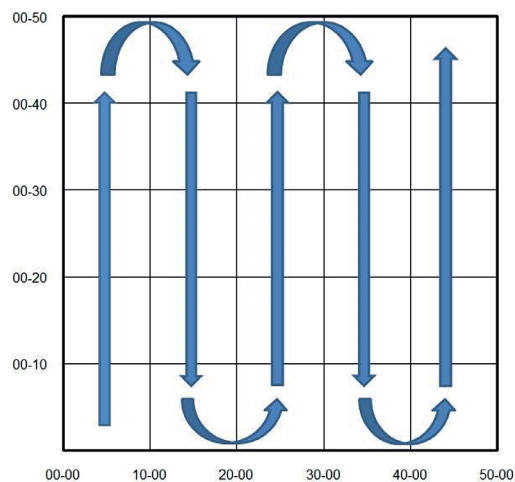


Figura 19. Diseño del recorrido para medir la necromasa de AMP en la parcela de  $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ .

A todos los AMP se les medirá el diámetro a 1,30 m del suelo cuando su altura sea igual o superior a esta, en el caso de individuos que presenten aletones el diámetro se medirá a 50 cm sobre el punto donde terminen los aletones (ver Figura 10). Cuando los tocones hallados al interior de cada parcela no alcanzan una altura total  $\geq 1,30$  m, el diámetro se medirá en el punto medio de la pieza (Figura 20a).

La altura total de la pieza se debe tomar con una cintra métrica, cuando sea posible alcanzar el extremo superior de la pieza. En los casos que esto no sea posible, se recomienda utilizar una vara extensible para AMP con alturas  $\leq 15$  m, o un hipsómetro laser o clinómetro cuando este sea más alto (*i. e.*  $> 15$  m).

La dureza de la madera de los AMP se debe medir en el punto de medición del diámetro, para esto se recomienda usar un penetrómetro dinámico (ver las especificaciones del equipo en Yepes *et al.* IDEAM 2011), el cual deberá permanecer posicionado en un ángulo aproximado de  $45^\circ$  con respecto a la vertical mientras se toma la medición (Figura 20b). El penetrómetro dinámico se deja caer 20 veces desde una altura de 25 cm, para que su punta penetre la pieza de madera; luego, se registrará la longitud de penetración de la aguja del penetrómetro (cm). En los casos que la aguja del penetrómetro penetre la pieza en menos de 20 golpes, se debe registrar el número de golpes.



**Figura 20.** Muestreo de AMP: a) medición del diámetro; b) medición de la dureza con penetrómetro dinámico.

Adicionalmente, se recomienda clasificar las piezas en una de las siguientes categorías de descomposición (Harmon *et al.* 1995), principalmente, en los casos que no es posible realizar las mediciones de la dureza con el penetrómetro para estimar la densidad de la madera:

**Clase 1:** material recientemente caído con madera sólida y algunas ramillas y hojas adheridas.

**Clase 2:** madera sólida y corteza intacta, pero sin ramillas ni hojas adheridas.

**Clase 3:** similar a la clase 2, pero presenta corteza podrida y de fácil desprendimiento.



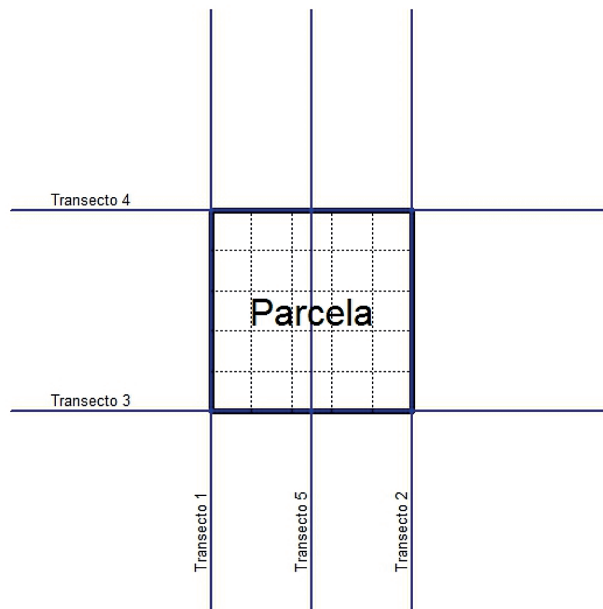
**Clase 4:** material podrido y puede ser fácilmente desprendido cuando es pateado.

**Clase 5:** material podrido y pulverizado, que puede ser separado con las manos.

Finalmente, cuando se estén midiendo los AMP, se recomienda revisar con atención la superficie del suelo, debido a que es posible encontrar tocones ocultos por musgo, bejucos, hojarasca, u otra materia orgánica, que podrían pasarse por alto y generar subestimaciones de la necromasa total.

### Detritos gruesos de madera (DGM)

El muestreo de DGM, en el cual se incluyen todas las piezas con  $D \geq 20$  cm, se realiza sobre 5 transectos de 150 m cada uno, para un total de 750 m. Los transectos se delimitan a partir de los vértices de las parcelas (transectos 1 a 4) y de los puntos 00-25 y 50-25 (transecto 5), extendiendo líneas de 50 m como se indica en la Figura 21. En el trazado de los transectos se utiliza brújula, clinómetro, jalones y cintas métricas, siguiendo la misma metodología indicada anteriormente para el establecimiento de parcelas.



**Figura 21.** Diseño de muestreo de los detritos gruesos de madera (DGM).

## Ubicación y medición de las piezas

A cada una de las piezas de DGM ( $D \geq 20$  cm) que se crucen con las líneas de muestreo, se les debe registrar el número del transecto y la distancia (m) en la que se encuentra la pieza. Posteriormente, se les mide el D en el punto de intersección de la pieza de madera con la línea del transecto. La medición se debe realizar, utilizando calibrador forestal o forcípula, de forma perpendicular al eje del tronco.

## Dureza

Al igual que en los AMP, la medición de la dureza de los DGM se debe realizar en el punto de medición del diámetro con la ayuda del penetrómetro dinámico, pero en este caso se debe posicionar con un ángulo aproximado de  $90^\circ$  con respecto a la vertical. El penetrómetro dinámico se deja caer 20 veces desde una altura de 25 cm, para que su punta penetre la pieza de madera; luego, la longitud de penetración de la aguja del penetrómetro se registrara en centímetros (Figura 22a). No obstante si la aguja penetra la pieza de madera en menos de 20 golpes se registra el número de golpes.

## Categoría de descomposición

De forma similar que en el caso de los AMP, se recomienda asignar a cada pieza una de las categorías de descomposición de la madera definidas anteriormente.

## Orientación

Se registrará la orientación del eje central de cada una de las piezas muestreadas. Para esto se debe utilizar una brújula ubicada en dirección hacia el extremo de la pieza en donde se localizan las ramas.

## Inclinación de la Pieza

La medición de la inclinación de la pieza de DGM se debe realizar con clinómetro, el cual debe permanecer paralelo al eje central de la pieza.

## Colección de muestras de DGM

Al 30 % del total de las piezas de DGM se les extrae una porción, en el mismo lugar donde se tomó la medición del D y la dureza de la madera, de un disco de aproxi-

madamente 3,0 cm de alto (Figura 22b). Para esto, se puede seleccionar una (1) de cada tres (3) piezas medidas.

Una vez cortado el disco, se deben tomar mediciones de su espesor en cuatro (4) puntos diferentes con un pie de rey, y se debe pesar en fresco. Posteriormente, se debe cortar una porción del disco, que incluya el punto donde se tomó el dato de dureza, y volver a pesar. Las muestras se deben guardar en bolsas herméticas, tipo ziploc, con el respectivo código de la parcela y transecto (e.g. etiqueta indicando Parcela A, Transecto2, Muestra 5), para finalmente llevarlas al laboratorio para ser secadas al horno a una temperatura de 70 °C.



a

b

**Figura 22.** Muestreo de DGM; a) medición de la longitud de penetración del penetrómetro dinámico, y b) toma de muestras de DGM.

Recomendaciones relacionadas con el muestreo de DGM:

- Para extraer la porción de madera del individuo censado es necesario contar con una persona experta en el manejo de motosierra, con el fin que la muestra extraída cumpla con los requerimientos básicos para su medición.
- Las muestras deberán ser pesadas inmediatamente después de ser colectadas, esto con el fin de evitar que pierdan peso por el proceso de secado natural.
- Para pesar las muestras extraídas de los detritos de madera se recomienda utilizar balanzas de precisión, con el fin de evitar sobre o sub estimaciones.

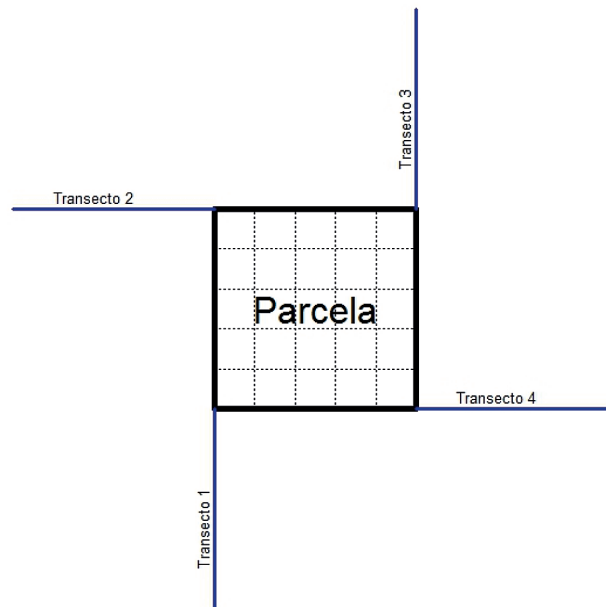


## Detritos finos de madera (DFM)

Se recomienda realizar el muestreo de los DFM de forma paralela al muestreo de DGM. Para esto se seleccionarán cuatro (4) secciones de los transectos utilizados para DGM de 50 m cada uno, los cuales no deben coincidir con el perímetro de la parcela (Figura 23). No se recomienda utilizar el perímetro de la parcela, dado que en este se presenta un alto disturbio por las labores propias del establecimiento de la misma. Cada transecto se divide en secciones de 10 m cada una (5 secciones) y los DFM serán medidos dentro del primer metro de cada sección.

### Ubicación y medición de las piezas

A cada una de las piezas de DFM ( $2 \leq D < 20$ ) que crucen el transecto, se les registrará el número del transecto, sección, y la distancia a la que se encuentran (m). Posteriormente, se realizarán dos (2) mediciones perpendiculares del D en el punto de intersección, perpendicular al eje central de la pieza. Para esto se recomienda usar pie de rey o forcípula dependiendo del tamaño de cada pieza.



**Figura 23.** Diseño del muestreo para medir la necromasa de los detritos finos de madera.

## Colección muestras (densidad de la madera)

Se debe extraer una porción de la pieza de madera, después de tomar el D, al 30 % del total de las muestras. La muestra deberá tener un largo aproximado de 3 cm, y los cortes deberán ser realizados en paralelo al punto de medición del D, utilizando un serrucho o motosierra. Una vez extraída, la muestra deberá ser pesada y el diámetro y la longitud medidos en al menos dos puntos opuestos (Yepes *et al.* IDEAM 2011). Cada una de las muestras extraídas, incluyendo los pedazos rotos durante el corte deben ser empacadas en bolsas herméticas tipo ziploc, las cuales se deberán marcar con el respectivo código de la parcela, transecto y la sección en la que fue tomada la muestra (*e.g.* etiqueta indicando Parcela A, Transecto 2, Sección 1, Muestra 5), posteriormente será enviada al laboratorio para ser secadas al horno a una temperatura de 70°C.

## Categoría de descomposición

De forma similar que en el caso de los AMP y los DGM, se debe asignar a cada pieza una de las categorías de descomposición de la madera definidas anteriormente.



## MONITOREO CARBONO EN SUELOS

### Establecimiento de Calicata

Se recomienda hacer una calicata de  $1 \times 1 \times 1 \text{ m}$  ( $1 \text{ m}^3$ ) por parcela. El objetivo de esta calicata será realizar la descripción del perfil del suelo y obtener las muestras necesarias para la posterior determinación de la densidad aparente. Para ello, las muestras deberán ser tomadas a las siguientes profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm y 50-100 cm.

### Muestreo de campo

- **Paso 1:** seleccionar un lugar por fuera de cada parcela, este lugar debe asemejarse a las condiciones topográficas de la parcela y limitar con ella.
- **Paso 2:** establecer una calicata de dimensiones  $1 \times 1 \times 1 \text{ m}$ , es decir, que contenga un volumen de  $1 \text{ m}^3$  (Figura 24a). En lugares donde sea imposible alcanzar dicha profundidad debido a la presencia de rocas, se sugiere repetir el procedimiento en otro sitio, y si las rocas continúan siendo un limitante, se deberá tomar las muestras hasta la profundidad alcanzada y registrar la respectiva observación en una libreta de campo.

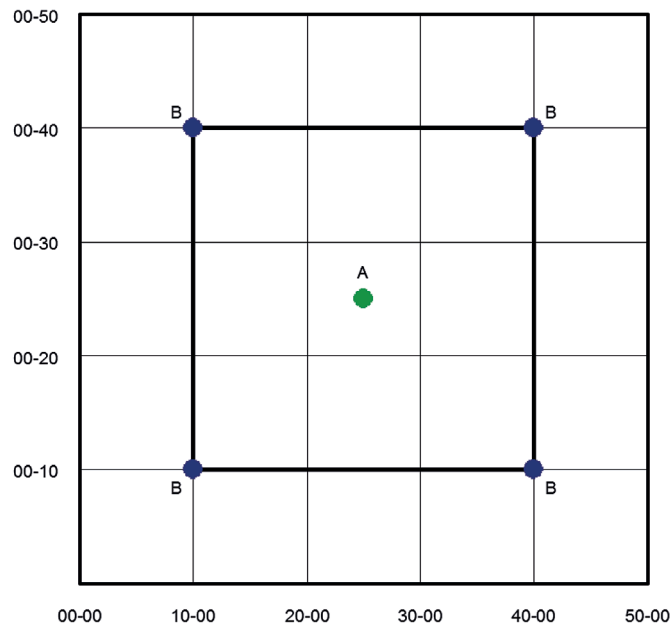


**Figura 24.** Establecimiento calicata para el muestreo de la densidad aparente del suelo: a) Establecimiento de la calicata; y b) colección y almacenamiento de las muestras de suelo.

- **Paso 3:** de uno de los lados de la calicata, extraer las muestras de suelo con cilindros de acero inoxidable de 5 cm de alto por 5 cm de diámetro, en cada una de las profundidades propuestas: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm y 50-100 cm (Figura 24b).
- **Paso 4:** todas las muestras deberán ser depositadas en bolsas plásticas herméticas, tipo ziploc, para ser transportadas al laboratorio (Figura 24b). Cada bolsa debe ser debidamente marcada con el número o código de la parcela, la profundidad a la que corresponde y el código de la muestra (e.g. Parcela A, Profundidad 0-10 cm, Muestra 1).
- **Paso 5:** una vez tomadas las muestras se deberá tapar la calicata con el suelo removido, esto con el fin de no alterar las condiciones del sitio de muestreo.
- **Paso 6:** luego de tomar las muestras, se deberán llevar al laboratorio, en donde se realizarán los análisis para determinar la densidad aparente. Las muestras deben permanecer en un lugar fresco.

## Muestreo de suelos al interior de las parcelas establecidas para biomasa aérea

En cada una de las parcelas establecidas para la estimación de biomasa aérea (50 m × 50 m), las muestras de suelo se tomarán dentro de una sub-parcela de 30 m × 30 m. En el centro de la sub-parcela (Punto A, Figura 25) se tomarán muestras a las siguientes profundidades 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm y 50-100 cm. Posteriormente, en los puntos denominados B (Figura 25), se tomarán muestras hasta 20 cm de profundidad, es decir 0-10 cm y 10-20 cm. En todos los casos se utilizará un barreno de golpe. Todas las muestras obtenidas de 0-10 cm y de 10-20 cm, se deberán mezclar para llevar así una sola muestra por cada uno de los estratos (Figura 26a). En laboratorio se analizarían por tanto, cuatro (4) muestras a diferentes profundidades de cada una de las parcelas establecidas.



**Figura 25.** Localización de los puntos de muestreo de suelo dentro de las parcelas establecidas para el muestreo de biomasa aérea (50 m × 50 m).

## Muestreo de campo

- **Paso 1:** marcar el barreno con cinta aislante a las profundidades requeridas (*i.e.* 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm y 50-100 cm) La base de la cinta debe corresponder a la profundidad requerida.
- **Paso 2:** preparar el punto de muestreo limpiando la superficie del suelo de hojas, incluyendo aquellas en descomposición.
- **Paso 3:** tomar las muestras de suelo a cada profundidad. Se debe estar seguro que todas las muestras sean tomadas a las profundidades exactas. Además, se deberán registrar otras observaciones como el color del suelo, presencia de obstáculos como rocas y raíces, etc. En lugares donde sea imposible aumentar la profundidad debido a la presencia de rocas, se sugiere repetir el procedimiento en otro sitio cercano. Al extraer el barreno, asegúrese que la muestra de suelo no se caiga de la base del barreno. Para esto, se puede utilizar un machete, con el fin de cortar el suelo en la base del barreno.
- **Paso 4:** todas las muestras deberán ser depositadas en bolsas plásticas herméticas, tipo ziploc (Figura 26b), para ser transportadas al laboratorio. Cada bolsa debe ser debidamente marcada con el número o código de la parcela, la profundidad a la que corresponde y el código de la muestra (*e.g.* Parcela A, Profundidad 0-10 cm, Muestra 1).



- **Paso 5:** finalmente, las muestras deben ser transportadas al laboratorio, en donde se realizarán los análisis para determinar la cantidad de carbono. Las muestras deben permanecer en un lugar fresco.



**Figura 26.** Muestreo de carbono orgánico en suelos; a) mezcla de todas las muestras obtenidas en 0-10 cm y 10-20 cm, y b) almacenamiento de las muestras en bolsas plásticas.

Otras recomendaciones relacionadas con la extracción de muestras:

- Si hay raíces que interrumpen la extracción de las muestras, intentar cortar la misma con tijeras o machete. Si el obstáculo persiste, comenzar de nuevo en un sitio cercano.
- En suelos rocosos, tomar las muestras a la profundidad máxima de penetración del barreno. Es decir, hasta la profundidad a la cual las rocas se vuelvan una barrera para la penetración del barreno. En estos casos realizar las anotaciones del caso.
- La mayoría de los bosques tropicales de tierras bajas no tienen un horizonte orgánico superficial pronunciado. Sin embargo, los bosques montañosos suelen tener horizontes orgánicos gruesos, que deben ser incluidos en la muestra pero en bolsas separadas.
- Si hay una señal de perturbación en el sitio definido para el muestreo (e.g. nido de termitas u otro tipo de fauna), desplazarse a un área sin perturbar lo más cerca posible de éste.

## LITERATURA CITADA

Aragão, L., Malhi, Y., Metcalfe, D.B., Silva-Espejo, J.E., Jiménez, E., Navarrete, D., Almeida, S., Costa, A.C.L., Salinas, N., Phillips, O.L., Anderson, L.O., Alvarez, E., Baker, T.R., Goncalvez, P.H., Huamán-Ovalle, J., Mamani-Solórzano, M., Meir, P., Monteagudo, A., Patiño, S., Peñuela, M.C., Prieto, A., Quesada, C.A., Rozas-Dávila, A., Rudas, A., Silva Jr, J.A. & Vásquez, R. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences* 6: 2759-2778.

Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., Thomlinson, J.R. & Ni, J. 2001. Measuring Net Primary Production in forests: Concepts and field methods. *Ecological Applications* 11: 356 – 370.

Clark, D.A. 2007. Detecting tropical forests responses to global climatic and atmospheric change: current challenges and a way forward. *Biotropica* 39: 4-19.

Condit, R. 1998. Tropical forest census plot. Springer –Verlag, Berlin, and R.G. Landes Company, Georgetown, Texas.

Chao, K.J. & Phillips, O. 2005. Manual de campo para censos sobre el tipo de mortalidad de árboles. RAINFOR

Chao, K.J., Phillips, O.L., Baker, T.R., Peacock, J., López-Gonzalez, G., Vasques-Martinez, R., Monteagudo, A. & Torres-Lezama, A. 2009. After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. *Biogeosciences* 6: 1615 – 1626.

Harmon, M.E., Whigh, D.F., Sexton, J. & Olmest, I. 1995. Decomposition and mass of woody detritus in the dry tropical forest of the Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. *Biotropica* 27 (3): 305-316

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2002. Cambio Climático y biodiversidad. ISBN: 92-9169-104-7. 93 pp.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2007. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm#1](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm#1).

GOFC-GOLD. 2009. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting, GOFC-GOLD Report version COP14-2, GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada.

Larjavaara, M., & Muller-Landau, H. 2010. Woody debris research: Overview. CTFS Global Forest Carbon Research Initiative. Version: May 2011.

Peña M.A., Yepes A.P., Phillips J.F., Cabrera E. & Córdoba N. 2013. Protocolo para la remediación de parcelas permanentes y la estimación de los cambios en los contenidos de biomasa-carbono en bosques. IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 48 pp.

Ricker, M. & Daly, D. 1998. Botánica económica en bosques tropicales: principios y métodos para su estudio y aprovechamiento. Editorial Diana. México D.F, México. 293 pp.

Rügnitz, M.T., Chacón, M.L. & Porro R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Manual Técnico No. 11. Lima, Perú. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/Consorcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 pp.

Upadhyay, T.P., Solberg, B. & Sankhayan, P.L., 2006. Use of models to analyse land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis. *Forest Policy and Economics*, 9: 349–371.

Uriarte, M., Schneider, L. & Rudel, T., 2010. Synthesis: Land Transitions in the Tropics. *Biotropica*, 42: 59–62.

Vallejo, M.I., Londoño, A.C., López, R., Galeano, G., Álvarez, E. & Devia, W. 2005. Métodos para estudios ecológicos a largo plazo: Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Volumen I. 309 pp.

Vieria, S., Trumbore, S., Camargo, P.B., Selhorst, D., Chambers, J.Q., Higuchi, N. & Martinelli, L.A. 2005. Slow growth rates of Amazonian trees: consequences for carbon cycling. *PNAS* 102: 18502-18507.

Yepes A.P., Duque A.J., Navarrete D.A., Phillips J.F., Cabrera K.R. & Álvarez, E. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 134 p.

# ANEXOS



## Anexo 1.

Información básica requerida para la caracterización de las parcelas que se establezcan.

Descriptor	Aspecto que debe incluir
Parcela	Identificador único de la parcela
X	Coordenada X
Y	Coordenada Y
Sistema	Indicar <i>datum</i> /proyección del sistema de coordenadas empleadas en la georreferenciación de la parcela (e.g. WGS 84)
Azimut/Rumbo	Dirección de las líneas perpendiculares definidas para el establecimiento de la parcela
Autor	Autor/Custodio de la información
Año	Indicar el año en el cual se realizó la fase de campo
Estado	Indicar si la parcela es permanente/temporal
Forma	Dimensiones de la parcela ( <i>i.e.</i> largo x ancho), expresada en metros
Departamento	Departamento en donde está ubicada la parcela
Municipio	Municipio en donde está ubicada la parcela
Localidad	Ubicación específica del lugar en donde está ubicada la parcela
Fisiografía	Indicar la unidad fisiográfica en la cual está ubicada la parcela. Por ejemplo: plano inundable, colinas, valles, etc.
Altitud	Altitud del área donde está ubicada la parcela, expresada en metros sobre el nivel del mar
Precipitación	Precipitación promedio anual del área en donde está ubicada la parcela, expresada en milímetros año <sup>-1</sup>
Temperatura	Temperatura media anual del área en donde está ubicada la parcela, expresada en grados centígrados
Aprovechamiento	Indicar si existen o no evidencias de aprovechamiento forestal/disturbios recientes dentro de la parcela
Altura	Indicar si la altura de los individuos fue estimada o medida en campo (equipos empleados)
Colecciones	Indicar si se realizó una colecta de especímenes botánicos; en caso que la respuesta sea positiva, indicar en dónde se depositó la colección
Determinaciones	Indicar el nombre de la (s) persona (s) o institución encargada de realizar la determinación de los especímenes botánicos
Observaciones	Otra información adicional relevante del muestreo



## Anexo 2.

Tabla de corrección de pendientes.

Ángulo (°)	Distancia horizontal(m)			
	5	10	15	20
2	5,00	10,01	15,01	20,01
3	5,01	10,01	15,02	20,03
4	5,01	10,02	15,04	20,05
5	5,02	10,04	15,06	20,08
6	5,03	10,06	15,08	20,11
7	5,04	10,08	15,11	20,15
8	5,05	10,10	15,15	20,20
9	5,06	10,12	15,19	20,25
10	5,08	10,15	15,23	20,31
11	5,09	10,19	15,28	20,37
12	5,11	10,22	15,34	20,45
13	5,13	10,26	15,39	20,53
14	5,15	10,31	15,46	20,61
15	5,18	10,35	15,53	20,71
16	5,20	10,40	15,60	20,81
17	5,23	10,46	15,69	20,91
18	5,26	10,51	15,77	21,03
19	5,29	10,58	15,86	21,15
20	5,32	10,64	15,96	21,28
21	5,36	10,71	16,07	21,42
22	5,39	10,79	16,18	21,57
23	5,43	10,86	16,30	21,73
24	5,47	10,95	16,42	21,89
25	5,52	11,03	16,55	22,07
26	5,56	11,13	16,69	22,25
27	5,61	11,22	16,83	22,45
28	5,66	11,33	16,99	22,65
29	5,72	11,43	17,15	22,87
30	5,77	11,55	17,32	23,09
31	5,83	11,67	17,50	23,33
32	5,90	11,79	17,69	23,58
33	5,96	11,92	17,89	23,85
34	6,03	12,06	18,09	24,12
35	6,10	12,21	18,31	24,42
36	6,18	12,36	18,54	24,72
37	6,26	12,52	18,78	25,04
38	6,35	12,69	19,04	25,38
39	6,43	12,87	19,30	25,74
40	6,53	13,05	19,58	26,11
41	6,63	13,25	19,88	26,50
42	6,73	13,46	20,18	26,91
43	6,84	13,67	20,51	27,35
44	6,95	13,90	20,85	27,80
45	7,07	14,14	21,21	28,28

### Anexo 3.

Formularios para la captura de datos durante el establecimiento y remediación de parcelas:

- F1.** Formulario Diámetro Dosel  $D \geq 10$  cm
- F2.** Formulario Diámetro Sotobosque  $1 \leq D < 10$  cm
- F3.** Formulario medición alturas (H)
- F4.** Formulario Colección Botánica
- F5.** Formulario Mapeo
- F6.** Registro pendientes (establecimiento parcela)
- F7.** Formulario Árboles Muertos en Pie (AMP)
- F8.** Formulario Detritos Gruesos de Madera (DGM)
- F9.** Formulario Detritos Finos de Madera (DFM)

F1. Formulario Diámetro Dosel D ≥ 10 cm

Parcela: \_\_\_\_\_ No Individuos: \_\_\_\_\_ Rango placas: \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_  
Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Cuad.	No Placa	CAP (cm)	D (cm)	PM (m)	TM	Observaciones

Código	Uso	Código	Uso
L	Tallo inclinado	P	Postrado
Q	Quebrado encima 1.3m	M	Tallo múltiple
I	Tallo irregular	TP	Tallo principal
B	Contrafuertes	PM	Punto medición

## F2. Formulario Diámetro Sotobosque $1 \leq D < 10$ cm

Parcela: \_\_\_\_\_ No Individuos: \_\_\_\_\_ Rango placas: \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Cuad (sub)	No Placa	D_1 (cm)	D_2 (cm)	Cap (cm)	PM (m)	Tm	Observaciones

Código	Uso	Código	Uso
L	Tallo inclinado	P	Postrado
Q	Quebrado encima 1,3m	M	Tallo múltiple
I	Tallo irregular	TP	Tallo principal
B	Contrafuertes	PM	Punto medición

### F3. Formulario medición alturas (H)

Parcela: \_\_\_\_\_

No Individuos: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Cuad	No placa	Altura total (HT; m)			
		Vista +	Vista -	Dist. (m)	HT

Cuad	No placa	Altura total (HT; m)			
		Vista +	Vista -	Dist. (m)	HT



F4. Formulario Colección Botánica

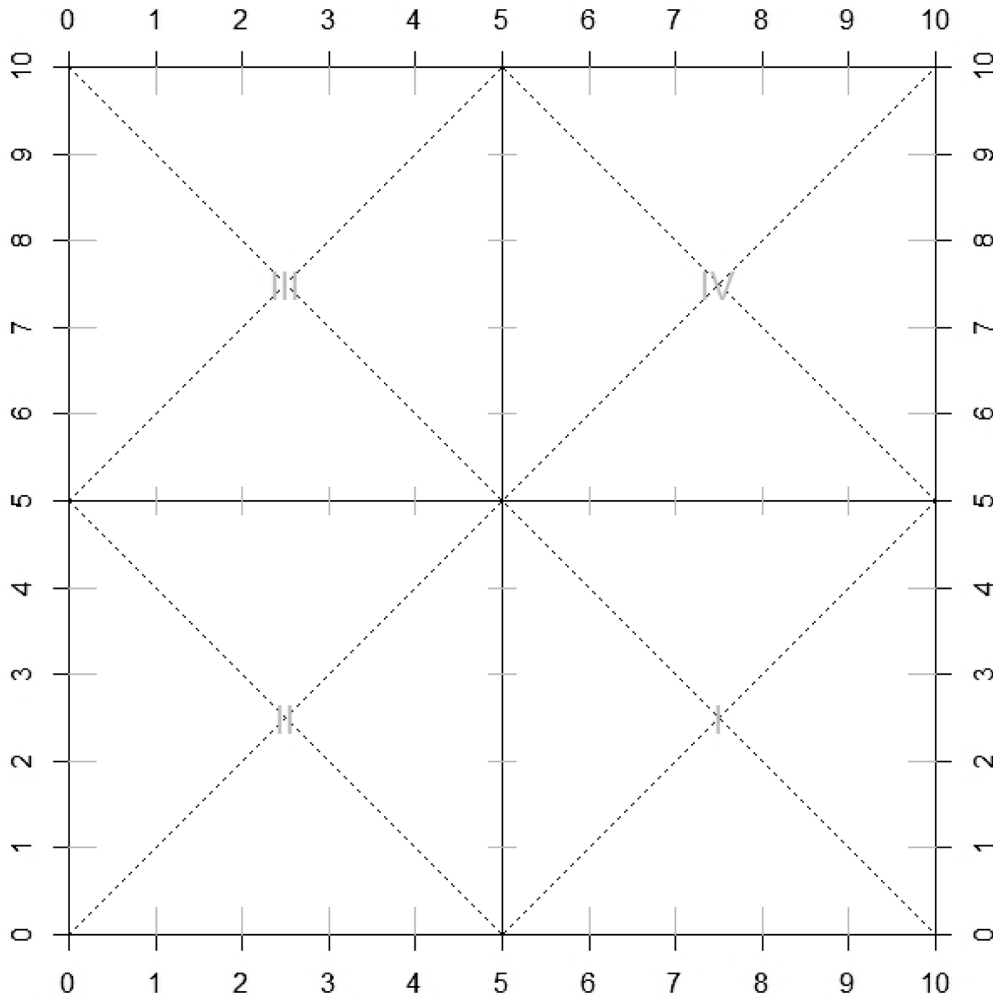
Parcela: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

Placa	N. Común	Familia	N. Científico	Muestra	Foto
<b>Observaciones:</b>					
Placa	N. Común	Familia	N. Científico	Muestra	Foto
<b>Observaciones:</b>					
Placa	N. Común	Familia	N. Científico	Muestra	Foto
<b>Observaciones:</b>					
Placa	N. Común	Familia	N. Científico	Muestra	Foto
<b>Observaciones:</b>					
Placa	N. Común	Familia	N. Científico	Muestra	Foto
<b>Observaciones:</b>					
Placa	N. Común	Familia	N. Científico	Muestra	Foto
<b>Observaciones:</b>					

### F5. Formulario Mapeo

Parcela: \_\_\_\_\_ Cuadrante: \_\_\_\_\_ No Tallos: \_\_\_\_\_ Rango placas: \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_



## F6. Registro pendientes (establecimiento parcela)

Parcela: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

Punto 1	Punto 2	Pendiente (Grados)
00-00	00-10	
00-10	00-20	
00-20	00-30	
00-30	00-40	
00-40	00-50	
00-00	10-00	
10-00	10-10	
10-10	10-20	
10-20	10-30	
10-30	10-40	
10-40	10-50	
10-50	00-50	
10-00	20-00	
20-00	20-10	
20-10	20-20	
20-20	20-30	
20-30	20-40	
20-40	20-50	
20-50	10-50	
20-00	30-00	
30-00	30-10	
30-10	30-20	
30-20	30-30	
30-30	30-40	
30-40	30-50	
30-50	20-50	

Punto 1	Punto 2	Pendiente (Grados)
30-00	40-00	
40-00	40-10	
40-10	40-20	
40-20	40-30	
40-30	40-40	
40-40	40-50	
40-50	30-50	
40-00	50-00	
50-00	50-10	
50-10	50-20	
50-20	50-30	
50-30	50-40	
50-40	50-50	
50-50	40-50	
Puntos adicionales		



### F8. Formulario Detritos Gruesos de Madera (DGM)

Parcela: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

Transecto	No	X	Y	D (cm)	Penetración < 20 golpes	Penetración = 20 golpes	Orientación (grados)	Pendiente pieza (%)	Categoría descomposición	Muestra	Peso disco (gr)	Ancho 1 (cm)	Ancho 2 (cm)	Ancho 3 (cm)	Ancho 4 (cm)	Ancho en el centro (cm)	Observaciones

F9. Formulario Detritos Finos de Madera (DFM)

Parcela: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

Transecto	No	Distancia (m)	D_1	D_2	Categoría descomposición	Muestra	Peso disco (gr)	Ancho 1 (cm)	Ancho 2 (cm)	Observaciones



