

Capítulo I

Metodologías para evaluar algunas variables forestales

Para implementar la metodología en diferentes regiones, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Para la selección de las especies:

- La importancia económica, social y medioambiental en cada región.
- Las necesidades tecnológicas para su producción.
- El potencial de utilización y aceptación por parte de los productores rurales.
- El potencial de uso en sistemas forestales, agroforestales y silvopastoriles.
- La posibilidad de la erosión genética de sus poblaciones naturales por amenaza de extensión.

Para la priorización, se aplicó a cada uno de los criterios antes mencionados una puntuación, así: 1: prioridad baja; 2: prioridad media, y 3: prioridad alta. Entre 2013 y 2014 se establecieron colecciones forestales de trabajo (arboretum) en diferentes centros de investigación de agrosavia.

Evaluación del crecimiento de un árbol

Para realizar las mediciones en altura de un árbol, es importante conocer los siguientes aspectos (figura 1):

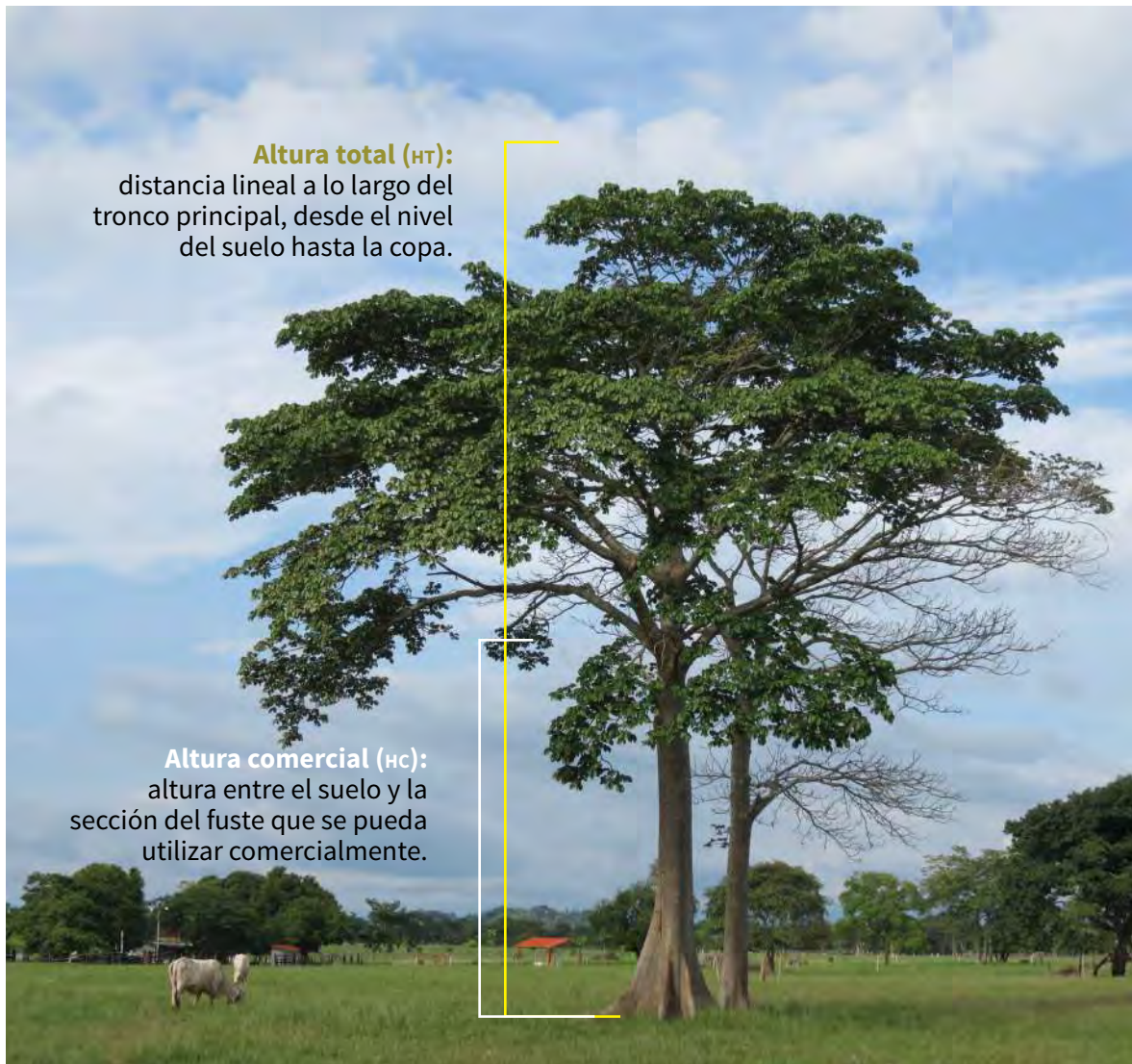


Figura 1. Altura total (HT) y comercial (HC) de un árbol.

Fuente: Elaboración propia

Medición de la altura de los árboles

Se lleva a cabo en árboles en pie, por medio de equipos como **clinómetros o hipsómetros**, en árboles que superen los 3 m de altura (figura 2) (Prodan et al., 1997).

Equipos usados para determinar el ángulo de árboles, edificios, postes, entre otros, con respecto a su vertical.



Hipsómetro



Clinómetro

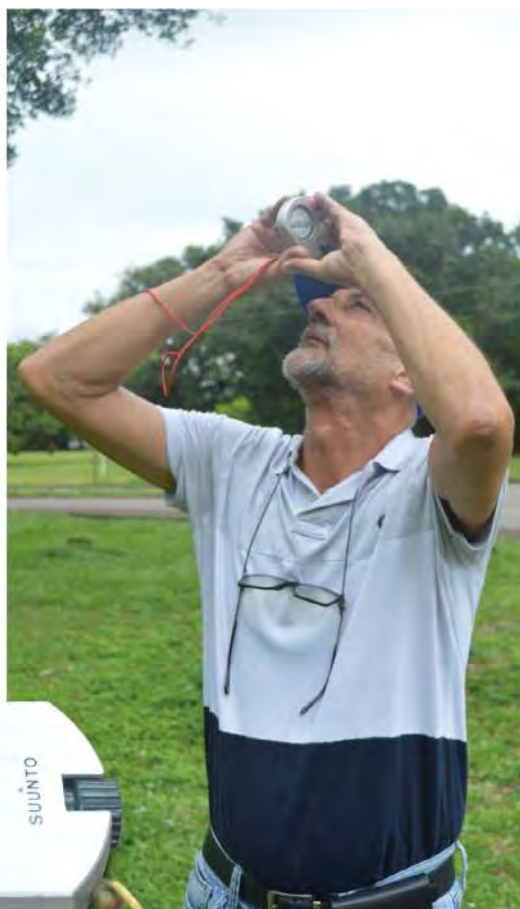


Foto: Albert Julesmar Gutiérrez

Figura 2. Medición de altura de árboles con clinómetro o hipsómetro.

Fuente: Elaboración propia

Otra opción para medir la altura del árbol es la pértiga graduada (vara recta con regleta métrica), la cual se ubica desde el suelo hasta la yema terminal en cada árbol plantado (figura 3).



Figura 3. Medición de altura con pértiga graduada.
Fotos: Albert Julesmar Gutiérrez

En caso de no contar con estos instrumentos para medir la altura de los árboles, se pueden utilizar las ecuaciones alométricas reportadas en la literatura para la especie requerida o de su interés. Tal es el caso de algunas medidas obtenidas a partir de investigaciones realizadas por AGROSAVIA (2024) y que se presentan en una sección posterior de esta cartilla.

Diámetro: es una medida tomada a la altura del pecho (DAP) del árbol, es decir que la medida se realiza a 1,30 m sobre el nivel del suelo, usando para esto la cinta diamétrica o la forcípula (figura 4). Si no se cuenta con ellas, se puede utilizar la cinta métrica. En este caso, el registro será de la circunferencia a la altura de pecho (CAP), cifra que será dividida por π (3,1416) para obtener el diámetro.



Figura 4. Medición del DAP. a. Medición con cinta diamétrica; b. Medición con forcípula.
Fotos: Diana Catalina Cervera

Diámetro de copa (dc): corresponde a la **medida de la extensión de la copa del árbol** y se expresa en metros. Se recomienda tomar dos medidas de diámetros, una en sentido norte-sur y la otra en sentido oriente-occidente, las cuales se denominan D1 y D2 (figura 5). Estas mediciones se promedian para estimar la cobertura de copa de cada individuo.

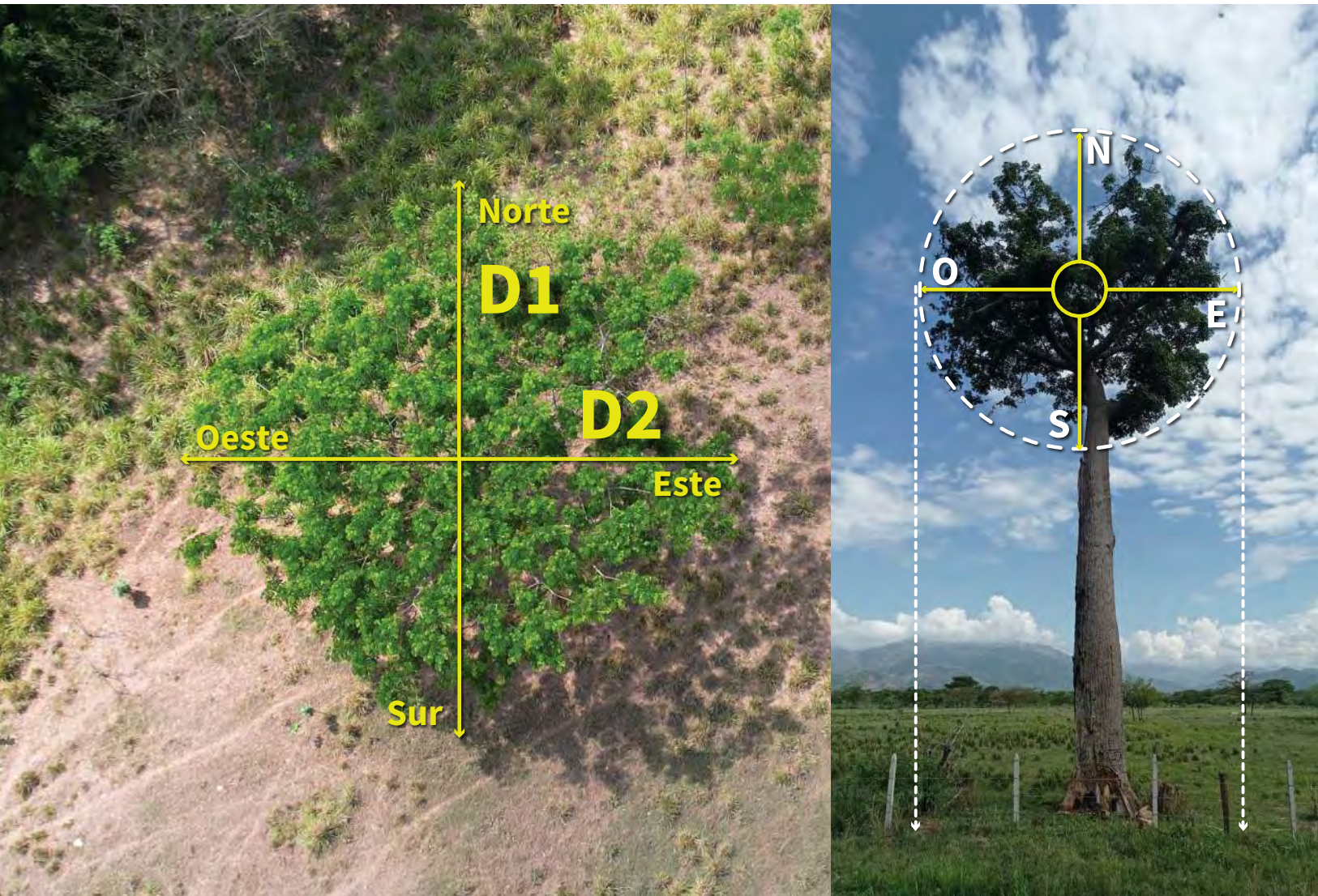


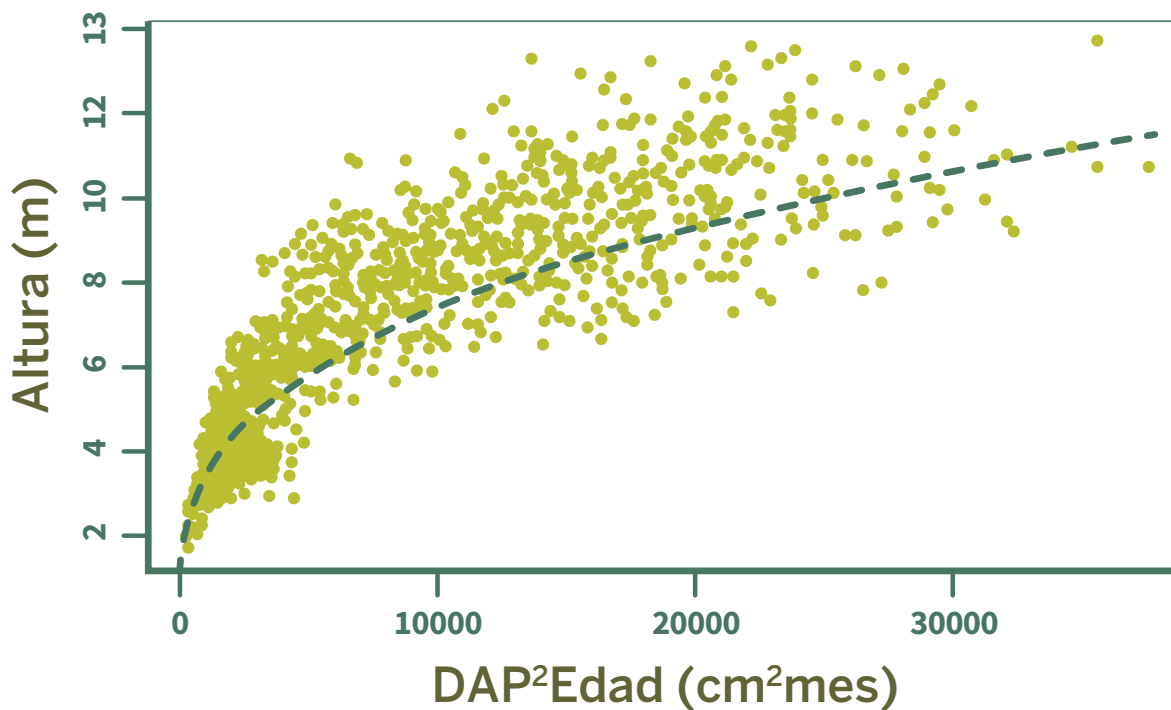
Figura 5. Diámetros de la copa de los árboles.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Jaime Arias

Generación de modelos alométricos para predecir el crecimiento en altura en especies forestales

Schmidt et al. (2009) indican que las ecuaciones alométricas (figura 6) describen una línea curva que simboliza la relación entre variables como biomasa, diámetro o altura de una planta. Para generar dichas ecuaciones, se realizan **mediciones repetidas** de diámetros y alturas a través del tiempo, en parcelas permanentes de crecimiento establecidas en la plantación.



$$\text{Altura total} = 0,3303178 (\text{DAP}^2 * \text{Edad})^{0,3365}$$

Figura 6. Ejemplo de modelo alométrico para predecir altura (H) a partir del DAP y de la edad (E) para *Simaruba amara* en el C. I. La Libertad (Villavicencio, Meta).

Fuente: Elaboración propia

Para seleccionar los mejores modelos alométricos, estos se comparan usando medidas de bondad de ajuste, como el **criterio de Akaike** (AIC) (Akaike, 1969) y el **bayesiano de Schwarz** (BIC) (Akaike, 1979), o las medidas de desempeño predictivo, como el **error medio absoluto** (MAE), la **raíz cuadrada del error cuadrático medio** (RCME) y la **eficiencia** (EF), definidas por Stauffer y Seaman (1990) y Pielke (2001).

Biomasa y longitud de raíces finas

Para estimar cuánta biomasa (**gramos de materia seca**) hay en la profundidad del muestreo, se utiliza la **biomasa radical**, que a su vez es un parámetro para **estimar la fijación de carbono en el ecosistema** (Morales, 1997; Arnáez & Moreira, 2006).

La longitud de la raíz (cm) varía mucho en las especies leñosas y está directamente relacionada con la productividad primaria, la acumulación de carbono en suelo, la fertilidad de este, entre otras variables (Herrera-Gorocica, 2014). **La longitud del sistema radical de la planta es de esencial importancia, dado que de esta depende la adquisición de agua y nutrientes.**

Muestreo radicular: a partir de las particularidades físicas del suelo, se caracteriza la distribución de la biomasa y la longitud de raíces finas, para lo cual, siguiendo la metodología propuesta por Arnáez y Moreira (2006), se seleccionan diferentes árboles de la especie forestal de interés (repeticiones), se demarca una línea desde el tronco del árbol hasta el perímetro de la copa, en cada transecto se muestrean diferentes puntos y, a su vez, en cada uno de estos se toman muestras a diferentes profundidades, según sea el interés del muestreo (figura 7).

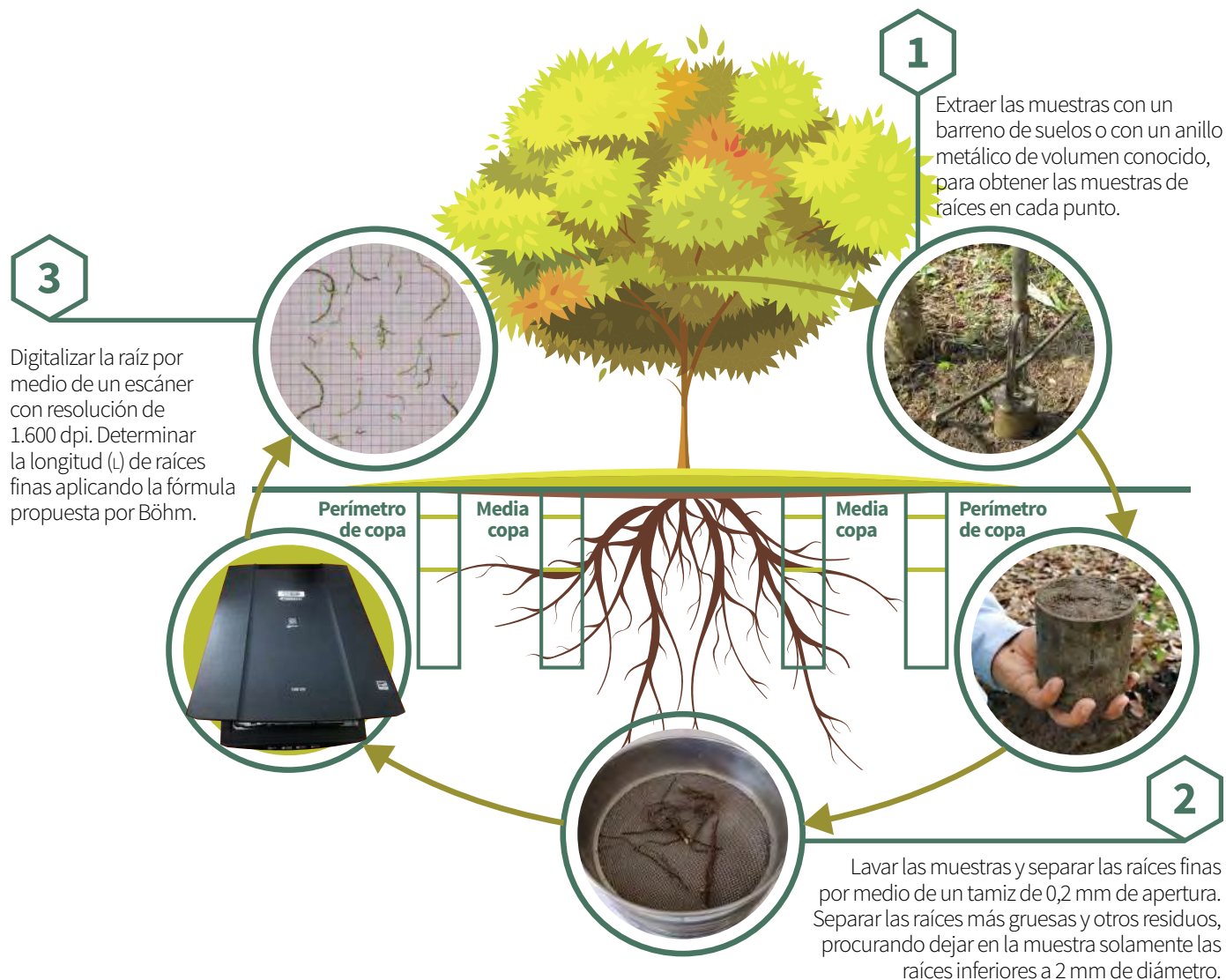


Figura 7. Muestreo radicular y procesamiento de raíces finas en una plantación forestal.

Fuente: Elaboración propia
Fotos: Jhon Jairo Zuluaga Peláez

La biomasa de raíces finas se estima mediante el peso seco, con el uso de balanzas de precisión. La longitud de raíces se calcula implementando la metodología propuesta por Böhm (1979), en la cual se disponen las raíces en una bandeja plana transparente con una cuadrícula de dimensiones conocidas trazada sobre un acetato. Posteriormente, se escanea para obtener una imagen y luego se relaciona el número de intersecciones de las raíces. Se crea así una imagen digital con las raíces y una plantilla de cuadrículas de 1 cm², para luego marcar los puntos de intersección entre las raíces y las líneas horizontales y verticales de la cuadrícula, y determinar la longitud de las raíces con la ecuación 1:

Ecuación 1

$$L = 0,7857 \times 1 \times N$$

L = longitud de raíces (cm)

0,7857 = valor constante

1 = 1 cm, tamaño de la cuadrícula

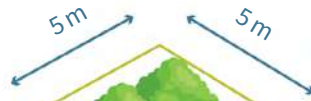
N = número de puntos de intercepción de raíces con las líneas de la cuadrícula

Evaluación de la sombra de la copa

Conocer **el grado de luz que atraviesa la copa de una especie forestal puede ser determinante y decisivo en la planificación forestal y agroforestal**. La elección del componente arbóreo para sombrío en sistemas agroforestales depende, en gran medida, del porcentaje de luz que pasa a través de su copa, bien sea para el asocio con una especie transitoria en sistemas agroforestales o bien para el aporte en el confort térmico de animales en sistemas silvopastoriles. En la figura 8 se presentan los pasos para determinar la cantidad de luz que pasa a través de la copa de los árboles.

— 1

Realizar la selección de puntos de muestreo dentro una parcela demarcada en una plantación o en un sistema agroforestal.



— 2

Colocar un lente ojo de pez (180°) en el lente de la cámara del celular y ubicarlo en un trípode a 1,30 m de altura, para evitar interferencia de especies tipo arbustivas o arvenses en el campo visual, y tomar fotografías semiesféricas hacia la copa del árbol.



— 3

Analizar las fotografías a través de un *software* gratuito (Gap Light Analyzer) y especializado en el análisis de dosel. Promediar los resultados por cada punto de muestreo, para obtener un estimativo por especie del porcentaje de opacidad e índice de área foliar (IAF), en cada punto.

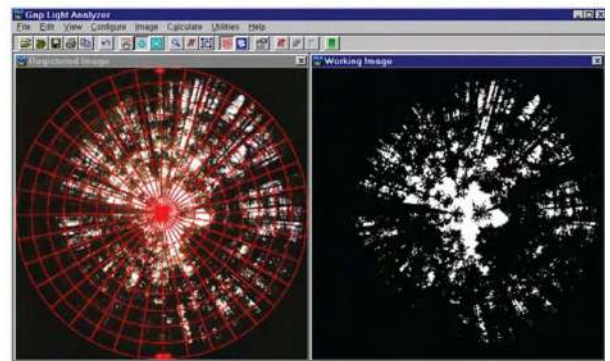


Figura 8. Toma de fotografías con lente semiesférico y procesamiento de las imágenes.

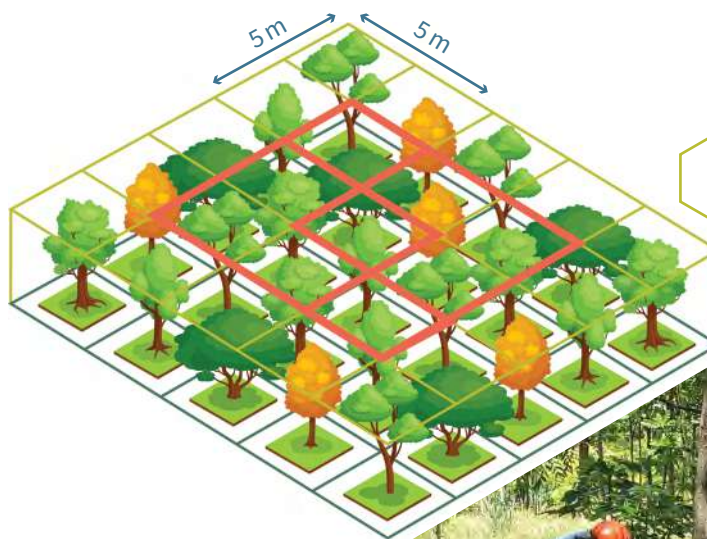
Fuente: Elaboración propia

Fotos: Jhon Jairo Zuluaga Peláez

Determinación de la biomasa aérea y captura de carbono

A partir de métodos indirectos y directos se puede estimar la biomasa aérea de los árboles (expresada en kg). En el **método indirecto se utilizan ecuaciones generadas para cada especie reportadas en la literatura**, y que se ajusten a las características ecológicas y biofísicas de la región. En caso de no existir estudios, se pueden generar modelos en los que se relacione la biomasa aérea con el DAP , la HT o la densidad de la madera de las especies (ρ) (Lombo et al., 2023).

Para determinar la biomasa por el **método directo, se derriban los árboles y se estima el peso húmedo en campo de cada una de sus partes** (tallo, hojas, ramas, corteza, raíz, flores y fruto), para luego tomar muestras de cada una y determinar su peso húmedo y seco (figura 9). Una vez secas las muestras, se envían al laboratorio para determinar el contenido de carbono en una forma más precisa o, si se quiere un valor estimado, se multiplica la biomasa seca por 0,5, valor propuesto por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006).



1

Seleccionar puntos de muestreo en una plantación forestal.

2

Derribar el árbol seleccionado y realizar el proceso de corte del tronco.



3

Separar la biomasa por componentes (hojas, tronco, frutos, ramas).

4

Determinar el peso húmedo en campo y el peso seco de cada una de las muestras de las diferentes partes del árbol.



Figura 9. Muestreo de biomasa aérea y determinación del peso húmedo y seco de cada componente del árbol.

Fuente: Elaboración propia / Fotos: Jhon Jairo Zuluaga Peláez

Determinación de la interceptación del agua lluvia

Este tipo de estudios permite evaluar los principales aspectos hidrológicos de las especies forestales, como la precipitación abierta, interna y efectiva, la interceptación y el escurrimiento por el tronco, con el fin de **determinar la interceptación y la transferencia de agua al suelo** y su importancia en el manejo forestal, **para contribuir a la sostenibilidad hidrológica**. Para ello, se utilizan diferentes tipos de pluviómetros y recipientes colectores de agua (Rivera et al., 2023).

Los instrumentos más frecuentemente utilizados para medir la precipitación en una medición directa son los **pluviómetros y los pluviógrafos**, los cuales se usan en una zona limitada, cuyo tamaño depende de la extensión del periodo de acumulación, la homogeneidad fisiográfica de la región, la topografía local y los procesos que intervienen en la producción de la precipitación (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2008).

Para determinar la **precipitación en abierto** (P_A), se emplean generalmente tres pluviómetros (repeticiones) de aproximadamente 20 cm de diámetro (figura 10a), los cuales se instalan entre 50 y 100 m de distancia de la plantación forestal, de manera que no se presente interferencia por los árboles. Los pluviómetros deben estar nivelados y posicionados a 1,50 m del nivel del suelo (Zuluaga, 2014), acoplados individualmente a recipientes plásticos para almacenar hasta 5 L de agua. Para obtener la precipitación en abierto, se calcula la media aritmética de los valores del agua medida en los pluviómetros.

El agua que escurre por el tronco de los árboles, expresada como la variable E_{Tr} , es colectada por medio de pluviómetros corticales. Estos son confeccionados con mangueras plásticas de 1 pulgada (2,54 cm) y son fijados al tronco en forma de espiral, utilizando espuma de poliuretano y silicona (figura 10b). Generalmente, son instalados a 1,30 m del suelo, para lo cual se seleccionan tres árboles representativos de la especie (repeticiones), dentro de la parcela forestal. Los

pluviómetros corticales pueden elaborarse de acuerdo con la metodología propuesta por Zuluaga (2014).

La extremidad inferior de la manguera desemboca en una caneca plástica con suficiente capacidad para almacenar el agua lluvia. La cantidad de agua escurrida por el tronco se determina a partir del promedio del agua escurrida por el tronco de los tres árboles. Para la conversión de valores a mililitros, se utiliza el área de la copa del árbol, conforme a la ecuación 2:

Ecuación 2

ETr (mm) = escurrimiento por el tronco

ET (ml) = volumen total de agua de los colectores del

$$ETr = \left(\frac{ET/100}{A} \right)$$

A = área de la copa del árbol en m^2

Para el **estudio de la interceptación y de la distribución de la lluvia**, se establecen parcelas de monitoreo hidrológico en plantaciones forestales, con el fin de cuantificar la precipitación interna (P_i), es decir, la lluvia que cae al suelo. Esta se compone por la lluvia directa y por aquellas gotas de lluvia que no son interceptadas por la vegetación y que escurren por la cobertura del dosel. Para su medición se instalan, preferiblemente, pluviómetros lineales (figura 10c), elaborados de acuerdo con la metodología propuesta por Zuluaga (2014), colocados en dos posiciones: en la línea entre árboles y entre las líneas de los árboles.



Figura 10. Pluviómetros para cuantificar la precipitación en plantaciones forestales. a. Pluviómetro en abierto; b. Pluviómetro cortical; c. Pluviómetro lineal. Fotos: Jhon Jairo Zuluaga Peláez

La interceptación (I) es obtenida a partir de la diferencia entre la precipitación efectiva (precipitación interna + escurrimiento por el tronco) y la precipitación en abierto, mediante la ecuación 3:

Ecuación 3

I (mm) = interceptación

PA (mm) = precipitación en abierto

$$I = PA - (PI + ETr)$$

PI (mm) = precipitación interna

ETr (mm) = escurrimiento por el tronco