An aerial photograph of a vast, green savanna landscape. The terrain is covered in dense, low-lying vegetation, including grasses and numerous small, scattered trees. In the foreground, a person wearing a light-colored shirt and dark pants is visible, standing near a small white container. The background shows a flat horizon under a bright blue sky with scattered white clouds.

Capítulo I. Cuantificación de la biomasa aérea y subterránea

Foto: Hugo Gil

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

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

Biomasa aérea arbórea - metodología

Registro de variables dasométricas/biométricas

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

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

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

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

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



Figura 2.

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

Fotos: Hernán Camacho y Diana Mateus

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

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

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

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

Apeo de árboles

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

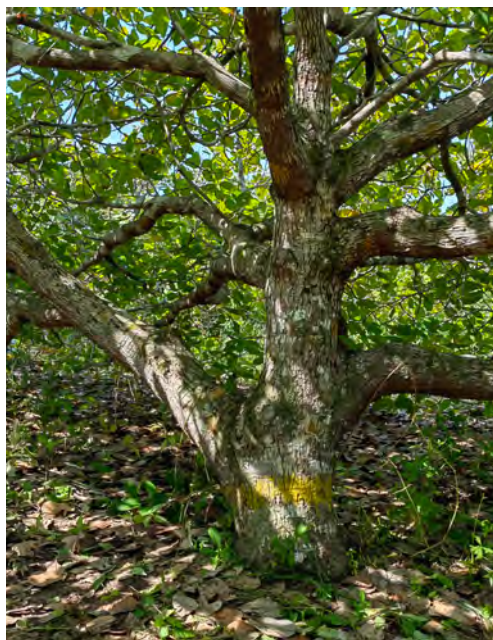


Figura 3.
Formas de ramificaciones en árboles de marañón.
Fotos: Diana Mateus

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

1. Marcar las plantas para facilitar la actividad y la cubicación (figura 4). En las plantas seleccionadas (aún en pie), a partir de 1,30 m de altura desde el nivel del suelo, se miden y marcan trozas (con diámetros ≥ 5 cm), de 1 m de longitud. Esta marcación

determina los puntos de corte posterior con motosierra. En cada troza se debe medir y registrar el diámetro de los extremos con la ayuda de una cinta diamétrica. Es posible que las últimas trozas, antes de que el diámetro sea menor a 5 cm, tengan una longitud diferente a 1 m, dato que se debe registrar. En caso de que las plantas no hayan alcanzado esta altura y diámetro, las mediciones y marcaciones deben iniciar a los 30 cm de altura.

2. Cortar y desprender del árbol las ramas identificadas y marcadas con diámetro ≥ 5 cm (figura 5). Este procedimiento se debe realizar de manera sistemática por ramas principales, dada la frondosidad de la



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



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

planta, especialmente en árboles mayores a 10 años.

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

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

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

Biomasa subterránea - metodología

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

Método monolito de suelos

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

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



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

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

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

demarcación, se deben realizar los siguientes pasos:

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

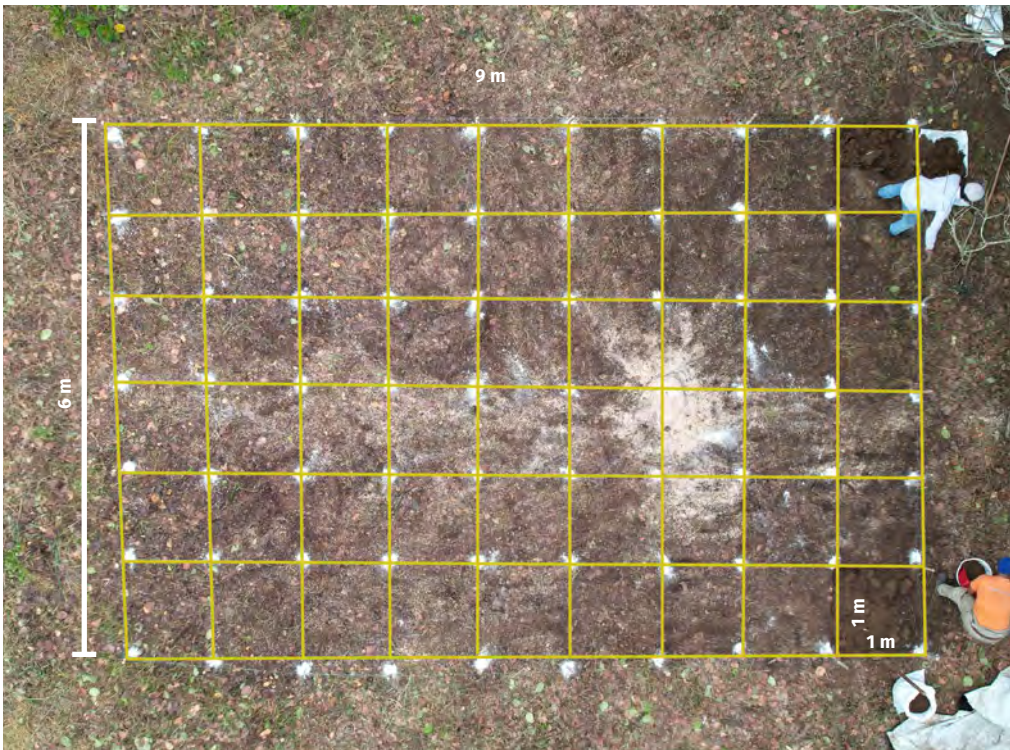


Figura 7.
Cuadrícula de suelo subdividida en cuadros de 1 m x 1 m.
Foto: Hugo Gil



Figura 8.

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

Fotos: Hernán Camacho y Diana Mateus

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

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

Método de excavación

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

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

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

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



Figura 9. Excavación de raíces. a. Excavación superficial para establecer plan de remoción de suelo e identificar raíces principales; b. Inicio de excavación en tronco.
Fotos: Hugo Gil y Diana Mateus

Biomasa de la vegetación rasante - metodología

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

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

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



Figura 10.

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

Fotos: Diana Mateus y Eldire Tafur