



Instituto de Investigaciones
de la Amazonía Peruana

Manual Técnico N° 2 Estimación de la biomasa de bambú nativo en la Amazonía Peruana



Serie 1

Pucallpa - Perú



Instituto
Tecnológico
de la Producción





Instituto de Investigaciones
de la Amazonía Peruana

Manual Técnico N° 2 Estimación de la biomasa de bambú nativo en la Amazonía Peruana

Serie 1



Instituto
Tecnológico
de la Producción



Manual Técnico N° 2 Estimación de la biomasa de bambú nativo en la Amazonía Peruana

Diego Gonzalo García Soria
Wilson Francisco Guerra Arévalo
Kevin Isaac Rodríguez Vasquez
Carlos Abanto Rodríguez
Dennis Del Castillo Torres
Krystel Clarisa Rojas Mego
Erick Robinson García Del Águila
Martha Obdulia Chávez Samudio
Jefferson Alexander Rodríguez Sotelo
David Jesús Espejo Briceño
Jorge Manuel Revilla Chávez

Manual Técnico N° 2

Estimación de la biomasa de bambú nativo en la Amazonía Peruana

Autores:

García Soria, Diego Gonzalo., Guerra Arévalo, Wilson Francisco., Rodríguez Vasquez, Kevin Isaac., Abanto Rodríguez, Carlos., Del Castillo Torres, Dennis., Rojas Mego, Krystel Clarisa., García Del Águila, Erick Robinson., Chávez Samudio, Martha Obdulia., Rodríguez Sotelo, Jefferson Alexander., Espejo Briceño, David Jesús y Revilla Chávez, Jorge Manuel.

Primera edición – Junio 2022

ISBN 978-612-4372-42-1

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022- 04789

©INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA - IIAP

Av. José Abelardo Quiñones km 2.5, Iquitos

<https://www.gob.pe/iiap>

Revisor científico externo

Héctor Enrique Gonzales Mora

Director del Círculo de Investigación de Bambú – Coordinador. Contrato N° 174-2015–FONDECYT-UNALM

Diseño y Diagramación: Flor Estela Vargas Vela

Impresión: IMSERGRAF E.I.R.L.

RUC N° 20100629691

Jr. Antonio Elizalde 470 Int. E-27 - Lima

Teléfono: 01 2818829

Email: imsergraf_007@yahoo.com

Impreso en Perú.

Número de ejemplares: 300

Cita sugerida

García-Soria DG., Guerra WF., Rodríguez KI., Abanto C., Del Castillo D., Rojas KC., García ER., Chávez MO., Rodríguez JA., Espejo DJ y Revilla JM. *Manual Técnico N° 2 Estimación de la biomasa de bambú nativo en la Amazonia Peruana. Serie 1.* Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP. Pucallpa, Ucayali. 48 p. 2022.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
BOSQUES Y LAS PLANTACIONES DE BAMBÚ	7
ESTIMACIONES DE CARBONO	8
Reservorios de carbono en los bosques de bambú	9
Evaluación y monitoreo	9
Ubicación de parcelas de muestreo en bosques y plantaciones de bambú	10
MATERIALES, INSTRUMENTOS Y RECURSOS HUMANOS	12
Materiales e instrumentos	12
Recursos humanos	13
INVENTARIO Y CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA BIOMASA Y CARBONO	14
Biomasa sobre el suelo	14
Necromasa	18
Uso de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono...	21
CANTIDAD, TAMAÑO Y DISEÑO DE PARCELAS	23
Cantidad de parcelas	23
Tamaño de parcelas	24
Forma y diseño de parcelas	25
Carbono en el suelo	26
Biomasa bajo el suelo	30
GENERACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA BAMBÚ	30
Construcción de ecuaciones alométricas para bambú	31
BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIONES DE BAMBÚ NATIVO	37
Biomasa y carbono aéreo	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS	45
Anexo 1. Partes y usos del bambú	45
Anexo 2. Diseño de parcela para mediciones de biomasa y carbono en bosques de bambú	46

INTRODUCCIÓN

Actualmente la crisis climática mundial ha derivado en el incremento de fenómenos climáticos extremos, tales como: sequías, olas de calor, fríos extremos e inundaciones, el IPCC (2021) confirma que la temperatura del planeta se incrementó 1° C, por encima del registro pre industrial, por lo que el incremento de 0,4 grados, implicaría riesgos climáticos aún mayores. La principal causa de estos efectos es el incremento del CO₂ atmosférico que en los últimos 151 años pasó de 280 a 417 ppm (NASA, 2022).

Una de las fuentes de emisión de CO₂ más importante está asociada con la deforestación, especialmente en bosques primarios, los cuales almacenan grandes cantidades de carbono en la biomasa aérea, subterránea y el suelo (Detwiler y Hall, 1988; Harmon et al. 1990).

En ese sentido, las plantaciones de bambú surgen como una alternativa viable para el secuestro de CO₂ en áreas deforestadas, dado que en su biomasa almacenan entre 40 y 306 tCha⁻¹, dependiendo de la especie, clima, fertilidad de suelo, densidad, edad de plantación, entre otros (Hunter y Junqui, 2002). De igual manera, los bosques naturales de bambú secuestran alrededor de 107.00 a 126.12 tCha⁻¹ (Camargo et al. 2007; García-Soria et al. 2013; Sharma y Vu Tan Phuong, 2013).

Asimismo, es necesario dar a conocer metodologías aplicables para la cuantificación de la biomasa y el secuestro carbono en estos ecosistemas, debido a que el Perú posee 4 920 444 hectáreas (MINAM, 2015), lo cual representa una gran oportunidad de ingresos económicos adicionales para las comunidades locales en la Amazonía Peruana.

Por lo cual, el presente manual será de gran utilidad para investigadores, extensionistas, técnicos de campo y estudiantes.

BOSQUES Y LAS PLANTACIONES DE BAMBÚ

Los bosques en el Perú son reconocidos por su gran diversidad, los cuales presentan 42 tipos en la costa, sierra y selva, albergando: alimentos, medicinas, culturas ancestrales, además de regular el clima (MINAM, 2015). Dentro de estos tipos de bosques se encuentran los Bosques con bambú, conocidos localmente como “pacales” o “maronales”.



Foto 1. Bosque de bambú dominado por la especie *Guadua weberbaueri* en Moyobamba, Perú.

Se ubican en terrazas bajas, terrazas altas, colinas y montañas, principalmente en los departamentos de Madre de Dios, Ucayali y Cusco. Ocupan una superficie equivalente al 3,82 % de la superficie nacional (MINAM, 2015).

El bambú provee una gran variedad de productos, se puede utilizar en construcción, gastronomía, medicina y otros usos, en cuanto a su importancia ambiental, aportan múltiples beneficios tales como: incremento de materia orgánica al suelo y protección del recurso hídrico (Ortega & Villareal, 2014; Alegría, 2013; Deras, 2003).

Su rápido crecimiento y desarrollo le permite aportar al suelo entre 2 a 4 toneladas de biomasa por hectárea al año, por lo cual mejora su textura, estructura y reduce en gran medida su erosión (Montiel & Sánchez, 2006; Giraldo & Sabogal, 1999).

A pesar de la importancia de estos bosques y plantaciones de bambú, no son aprovechados adecuadamente, ya que no existe tecnologías adecuadas para su uso sostenible en el Perú; además, de una incipiente investigación en la domesticación de las especies de bambú nativo.

La correcta aplicación de metodologías de estimación de stocks de biomasa y secuestro de carbono contribuirá en la generación de información que brindará a los usuarios del manual un mejor entendimiento de la importancia de estos ecosistemas.



Foto 2. Fauna presente en hojas secas de bambú (*Ameerega trivittata*).

ESTIMACIONES DE CARBONO

Reservorios de carbono en los bosques de bambú

Los bambusales presentan los mismos reservorios de carbono que los bosques tropicales, dado su menor diversidad, su cuantificación es menos compleja (Tabla 1).

Tabla 1. Depósitos de carbono en diferentes ecosistemas.

Tipo de Reservorio		Descripción
Biomasa	Sobre el suelo	Toda la biomasa que se encuentra sobre el suelo (tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje)
	Bajo el suelo	Raíces vivas. A veces se excluyen raíces finas de más de 2 mm de diámetro. Porque con frecuencia no se pueden distinguir de la materia orgánica del suelo o mantillo.
Materia orgánica muerta	Madera muerta	Contenida en el mantillo, ya sea en pie, superficial o en el suelo (raíces muertas y tocones de 10 cm de diámetro o más o de cualquier otro diámetro.)
	Mantillo	Diámetro inferior al elegido (ejemplo: 10 cm), en varios estados de descomposición sobre el suelo mineral o orgánico (capas de detritos, fúmicos y humínicos). Raíces finas vivas (de tamaño inferior al límite del diámetro sugerido para la biomasa bajo el suelo) se incluyen en el mantillo cuando no se pueden distinguir.
Suelos	Madera orgánica del suelo	Suelos minerales y orgánicos (incluida la turba) a una profundidad especificada elegida coherentemente mediante series cronológicas.
		Raíces finas vivas (de tamaño inferior al límite de diámetro sugerido para la biomasa bajo el suelo) se incluyen cuando no pueden distinguirse.

Fuente: IPCC (2003). Good Practice Guidance for LULUCF

Evaluación y monitoreo.

La evaluación y monitoreo de los stocks de biomasa y carbono, se realizan en parcelas temporales y permanentes, según esto, es necesario programar las mediciones por componentes (biomasa, necromasa y materia orgánica del suelo), éstos presentan considerables cambios producto de condiciones climáticas según la estacionalidad (Figura 1).

Por ejemplo, las precipitaciones y temperaturas históricas en el departamento de Ucayali, muestran mejores condiciones para la evaluación en los meses de julio y agosto, por ello, se recomienda efectuar las evaluaciones en esta época del año.



Foto 3. Bosque inundado de *Guadua superba* en el departamento de Ucayali

Para el caso de estudios que requieran mediciones periódicas, se recomienda usar el protocolo estándar de Rainfor (Phillips et al. 2018), en donde se establecen parámetros para mediciones en bosques de bambú. Debido a su mayor dinámica de crecimiento se debe incluir una sub parcela de 40 x 40 m para su medición cada 6 meses.

En ese sentido, es muy importante que las mediciones de carbono cuenten con una planificación anticipada, dado que, en terrenos inundables como los ecosistemas de *Guadua superba* (Foto 3) y en los complejos de orillales, debe realizarse en la estación seca, de manera que, el equipo de toma de datos pueda trabajar eficientemente con mayor comodidad y precisión. Además, el efecto de la temporada de lluvias, hace que las muestras a coleccionar se encuentren con exceso de humedad, lo cual genera una sobre estimación de la biomasa.

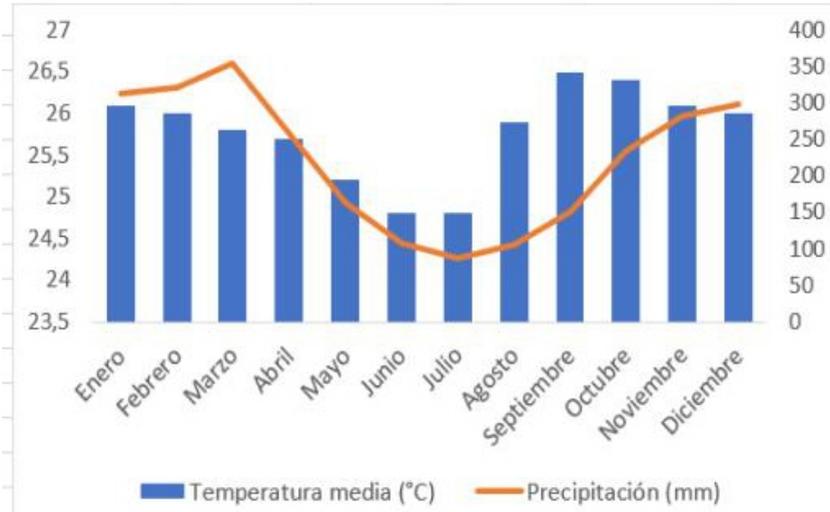


Figura 1. Temperatura y precipitación histórica anual en Ucayali. Fuente: Climate-data.org 2019.

Ubicación de parcelas de muestreo en bosques y plantaciones de bambú

Esta actividad se apoya en materiales cartográficos, imágenes satelitales, mapas de ubicación, equipo de Global Positioning System (GPS) y mapas de Zonificación Ecológica Económica (ZEE), estos últimos, son importantes dado que cuentan con mapas temáticos (uso actual del territorio, red hídrica y red vial) en donde se ubican los bosques de bambú nativo y plantaciones (Figura 2).



Foto 4. Brote de *Guadua lynnclarkiae* en el Departamento de San Martín.

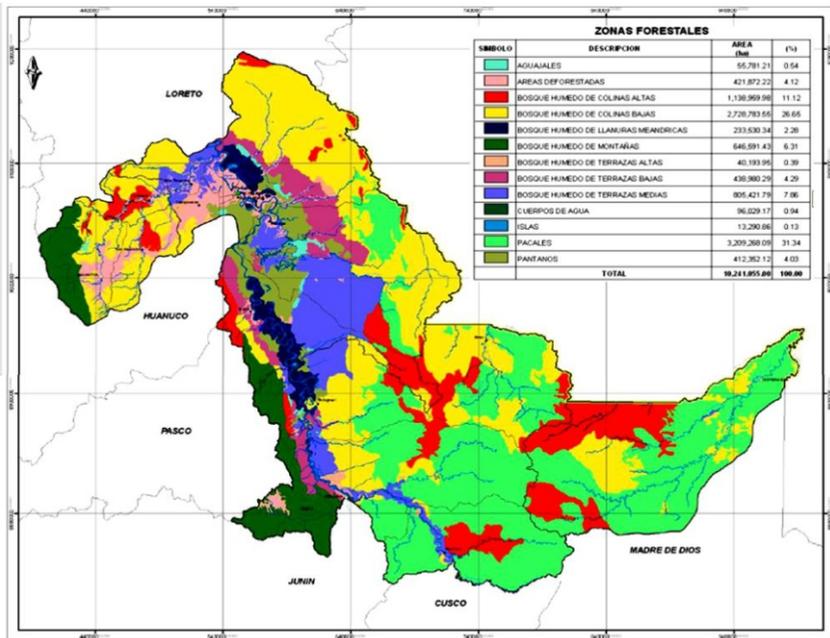
La localización de las parcelas de muestreo debe establecerse evitando los bordes de los bosques y plantaciones, siendo recomendable ubicar la parcela en el centro del área y entre parcelas es recomendable una separación mínima de 100 m.



Foto 5. Equipo técnico planificando la visita de las parcelas en bambusales.



Foto 6. Verificación de campo de las áreas pre seleccionadas, es importante la utilización del GPS.



Fuente: GOREU (2017).

Figura 2. Zonificación forestal del Departamento de Ucayali, se aprecia los bosques de “Bambú” en color verde limón.

MATERIALES, INSTRUMENTOS Y RECURSOS HUMANOS

Materiales e instrumentos

Tabla 2. Lista de instrumentos utilizados para el inventario de carbono

Instrumentos	Precisión	Medida
Wincha métrica	1 cm	Distancia
Forcípula	0.5 cm	Diámetro
Cinta diamétricas	0.1 cm	Diámetro
Vernier mecánico/digital	0.02 mm	Diámetro
Balanza romana de 500 g	10 g	Peso
Balanza romana de 5 kg	50 g	Peso
Balanza romana de 10 kg	100 g	Peso
Balanza romana de 20 kg	200 g	Peso
Balanza romana de 35 - 50 kg	500 g	Peso
Balanza digital de 3 - 6 kg	0.1 g	Peso
Balanza digital de 3 - 6 kg	0.01 g	Peso

Tabla 3. Lista de materiales utilizados para el inventario del stock de carbono.

Materiales	Tamaño	Uso
Sacos de polietileno	Grande	Transporte de muestras
Bolsas de papel	Mediano	Colecta de muestras de biomasa y necromasa
Bolsas de plástico	Pequeño	Colecta de muestras de suelo para análisis químico y densidad aparente
Rafia	Normal	Delimitación de sub parcelas
Soga	50 m	Múltiples usos
Saco pesador	Grande	Pesado de muestras en campo
Cuchillo	Pequeño	Muestras de suelo

Fuente: Adaptado de García-Soria (2013)

Tabla 4. Lista de materiales y equipos para la toma de muestras de suelo

Materiales	Tamaño	Uso
Cilindro para densidad aparente	100 cm ³	Colecta de muestra de suelo
Barreno	1.5 m	Colecta de muestras de suelo para análisis químico
Pala recta	Normal	Hacer pequeñas calicatas para muestreo a diferentes profundidades del suelo
Guantes	Normal	Manejar las muestras de suelo
Martillo	Normal	Fijar el cilindro para densidad aparente
Cuchillo/machete	Pequeño	Muestras de suelo

Fuente: Adaptado de García-Soria (2013)

Técnico forestal	1	Verifica que la toma de datos de biomasa se haga correctamente, apunta los datos en la libreta.	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Experiencia en inventarios forestales ▣ Saber seguir e interpretar ordenes ▣ Capacidad de trabajo bajo presión ▣ Trabajo en equipo
Técnico agrónomo	1	Toma los datos de suelo para la densidad aparente y el análisis carbono orgánico del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Experiencia en evaluación de suelos ▣ Saber seguir e interpretar ordenes ▣ Capacidad de trabajo bajo presión ▣ Trabajo en equipo
Trochero	2	Apertura de linderos, librado de malezas para tomar datos de árboles.	<ul style="list-style-type: none"> ▣ De preferencia de baja estatura ▣ Buena condición física ▣ Edad 25 – 35 años ▣ Manejo de equipos (wincha, forcípula, etc.)
Matero	1	Identificación de especies	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Buena vista ▣ Buena condición física ▣ Con mas de 15 años de experiencia ▣ Manejo de equipos (wincha, forcípula, etc.)

Fuente: Adaptado de García-Soria (2013)

INVENTARIO PARA ESTIMAR LA BIOMASA Y CARBONO

Biomasa sobre el suelo

Se recomienda dividirla en diferentes reservorios de acuerdo a sus clases diamétricas: árboles, palmeras y bambú con diámetros a la altura del pecho (DAP) mayores a los 10 cm (Foto 8 y 9); entre 5 y 9.9 cm; con diámetro entre 1.5 y 4.9 cm y la biomasa herbácea consistente en todos los individuos con diámetros menores a 1.5 cm.

La medición en campo de los individuos divididos en clases diamétricas, se hacen en diferentes áreas dentro de la parcela (Anexo 2).

Árboles, palmeras y bambú con DAP mayores a los 10 cm

La biomasa en esta clase diamétrica nos ayuda a determinar no solo el carbono, sino también el índice de valor de importancia (IVI), el área basal (AB) y el volumen maderable, siendo necesario medir como mínimo el DAP siguiendo las indicaciones de la Figura 3., además, medir la altura comercial (Hc) y altura total (Ht).

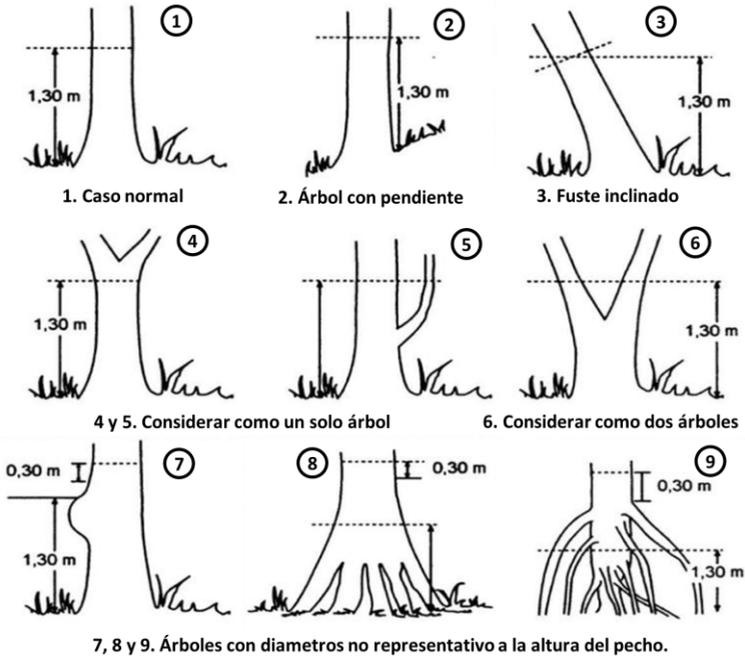


Figura 3. Uso correcto de la cinta diamétrica. Fuente: Schlegel et al. (2001).

El inventario de la clase diamétrica, es como sigue:

Paso 1: Delimitación de una parcela de 10 x 25 m con dirección norte (Anexo 2).

Paso 2: Inventario y medición al 100% de los individuos dentro de la parcela.



Foto 8. Toma de datos de circunferencia en individuos arbóreos.



Foto 9. Bambú de la especie *Guadua Lynmclarkiae* con mas de 15 cm de DAP.

Árboles, palmeras y bambú con DAP entre 5.0 a 9.9 cm

En los bosques de bambú esta clase diamétrica es importante por la mayor abundancia de individuos de bambú, contribuyendo con un alto porcentaje a la biomasa y carbono total del ecosistema.

El inventario de la clase diamétrica, se describe a continuación:



Foto 10. Toma de circunferencia en individuos de *G. sarcocarpa*

Paso 1: Delimitación de una sub parcela de 10 x 10 m ubicándola en la parte norte de la parcela de 10 x 25 m (Anexo 2).

Paso 2: Inventario y medición del DAP (en caso el fuste o tallo de los individuos no alcance la altura del DAP, se mide el diámetro, indicando la altura a la que se midió) y altura total de cada individuo.

Árboles, arbustos y bambú con DAP entre 1.5 y 4.9 cm

La importante de esta clase diamétrica es igual a la anterior.

El inventario de la clase diamétrica, se describe a continuación:

Paso 1: Delimitación de una sub parcela de 5 x 5 m ubicándola en la parte noreste de la parcela de 10 x 25 m (Anexo 2).

Paso 2: Inventario y medición del diámetro y altura total de cada individuo.



Foto 11. Toma de circunferencia en individuos de *G. weberbaueri*.

Herbácea y arbustos con diámetro menores a 1.5 cm

El procedimiento para la medición, es el siguiente:

- Paso 1:** Ubicación de 2 cuadrantes de 1 x 1 m, distribuidos en la esquina noroeste y sureste de la parcela de 10 x 25 m (Anexo 2).
- Paso 2:** Cortar el material vivo (biomasa fresca) usando una tijera podadora o un cuchillo bien afilado al ras del suelo, sin alterar la hojarasca (mantillo) y colocar en un saco.
- Paso 3:** Pesar el material depositado en el saco usando una balanza digital y un trípode fabricado con materiales del campo (Foto 19).
- Paso 4:** Posterior al pesado, homogenizar la biomasa fresca para tomar una muestra de aproximadamente el 20% del total, de no alcanzar un peso suficientemente grande (± 0.2 kg) se cuenta como muestra el total de la biomasa fresca.
- Paso 5:** Pesar la muestra obtenida en una balanza digital de plato y guardarla en una bolsa de papel debidamente codificada, posteriormente estas serán secadas en laboratorio.

Es importante no disturbar el área dado que de ahí mismo se tomarán las muestras de hojarasca y de suelos.



Foto 12. Cuadrante de 1 x 1 m para coleccionar herbáceas e individuos con diámetros menores a 1.5 cm



Foto 13. Biomasa herbácea colectada en una bolsa de tela.



Necromasa

En los bosques de bambú la necromasa se divide en diferentes reservorios, tales como:

- 1) Árboles, palmeras y bambú muertos en pie y tocones con DAP mayores a los 10 cm;
- 2) Árboles, palmeras y bambú caídos con DAP mayores a los 10 cm y
- 3) Hojarasca o mantillo que consiste en todos los individuos muertos con diámetros menores a 1.50 cm incluyendo hojas, ramas terminales y pequeños fustes.

Árboles, palmeras y bambú muertos en pie y tocones

Para medir los individuos se debe seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Dentro de la parcela de 10 x 25 m se realiza el inventario de los individuos al 100%, solo los que presenten un DAP mayor a 10 cm.

Paso 2: Medir el DAP y la Ht de los individuos, si el tronco es de forma elíptica es necesario tomar dos diámetros.

Se considera tocón a los individuos con altura menor a 1.30 m (Foto 14 y 15).



Foto 14. Tocón de bambú de la especie *Guadua hynclarkiae*.



Foto 15. Tocón de un árbol.

Árboles, palmeras y bambú muertos caídos en el suelo

Estos individuos están en proceso de descomposición y emiten CO₂ a la atmósfera; sin embargo, por su constante movimiento e intercambio de materia orgánica mantiene su stock de biomasa y carbono estable.

Para medir los individuos caídos sobre el suelo, se recomienda el método de intersección de línea, el cual tiene, los siguientes pasos:

- Paso 1:** Establecer un transecto de 25 m en el lado oeste de la parcela con medidas de 10 x 25 m (Anexo 2 y Figura 4).
- Paso 2:** Medir los diámetros de los troncos que se interceptan con el transecto, si el tronco es de forma elíptica es necesario tomar dos diámetros (Foto 16).
- Paso 3:** Clasificar los troncos en categorías por su estado de descomposición: F = Fresco, I = Intermedio y P = Podrido (Foto 17).

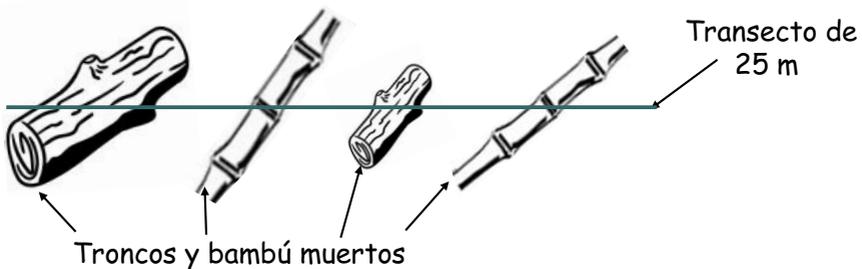


Figura 4. Transecto con troncos caídos, solo se mide el diámetro en la intersección



Foto 16. Medición de circunferencia de un bambú muerto caído en el transecto de medición.



Foto 17. Uso del machete para estimar el nivel de pudrición de los árboles caídos.

Hojarasca o mantillo con diámetros menores a 1.5 cm

La metodología a usar es la misma que se aplica en la colecta de herbáceas (pag. 17) y se hace en el mismo lugar (cuadrante de 1 x 1 m); con la diferencia que se colecta el material muerto (hojas, ramitas, pequeños tallos y similares)



Foto 18. Hojarasca y bambú muerto caído en un bosque dominado por *Guadua sarcoarpa*.



Foto 19. Trípode fabricado en campo para el pesado de herbáceas y hojarasca.

Uso de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y carbono

El trabajo de campo para estimar la biomasa y necromasa aérea de un bosque con bambú requiere la toma de datos biométricos en campo, tales como: diámetro, circunferencia, altura, entre otros.

La pregunta que surge es: ¿Cómo se utiliza estos datos para calcular la biomasa y el carbono?, la respuesta es: usando ecuaciones alométricas.

A continuación, se presenta un conjunto de ecuaciones pre establecidas para bosques tropicales, las cuales se usan de manera habitual en la estimación de la biomasa y carbono (Tabla 6).

Tabla 6. Ecuaciones alométricas utilizadas para bosques tropicales con presencia de bambú.

Especificación	Ecuación	Fuente
Árboles con DAP ≥ 10 cm.	$B = 0.0673 * (\rho DAP^2 Ht)^{0.976}$	Cheve et al., 2014
Palmeras con DAP ≥ 10 o 2 m de altura	$\ln B = (7.7 * Ht + 4.5^{0.003})$	Cummings et al., 2002
<i>Guadua sarcocarpa</i>	$B = 3.614311904 + 2.558090732 * D_{EN1}$	García et al., 2015
<i>Guadua Lynncarkiae</i>	$B = -32.2726 + 2.0306 * Ht + 1.0327 * C_{EN5}$	García et al., 2021(*)
<i>Guadua Weberbaueri</i>	$B = -3.0968 + 0.6234 * Ht + 0.1037 * C_{EN5}$	García et al., 2021(*)
<i>Guadua superba</i>	$B = -2.1723 + 0.4232 * Ht + 0.1583 * C_{EN5}$	García et al., 2021(*)
<i>Guadua angustifolia</i>	$B = -15.1025 + 8.40881 * DAP$	Herrera & Rojas, 2007
<i>Dendrocalamus asper</i>	$B = -2325707 + 5.65645 * DAP$	Mognon et al., 2014
Árboles con DAP de 5 a 9.9 cm	$B = \exp * (-0.37 + 0.333 * (\ln(DAP) + 0.933) * (\ln(DAP))^2 - 0.1220 * (\ln(DAP))^3)$	Chambers et al., 2001
Árboles y arbustos de 1.5 a 4.9 cm de DAP.	$B = \exp (-1.7689 + 2.377 * \ln(DAP))$	Nascimento & Laurence, 2002
Biomasa herbácea	$B = \frac{10000}{A_p} * \frac{B_h * \frac{B_{sm}}{B_{hm}}}{1000}$	IPCC (2003)
Árboles caídos	$B = n^2 + \frac{(D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2)}{8 * L} * C_p$	IPCC (2003)

Árboles muertos en pie y tocones	$B = 3.1416 * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * H * 0.3/1000$	IPCC (2003)
Necromasa herbácea	$N = \frac{10000}{Ap} * \frac{Nh * \frac{Nsm}{1000}}{1000}$	IPCC (2003)
C en la biomasa	$C = B * Fc$	Martin & Thomas, (2011)

(*) Resultados preliminares.

Donde:

- B = Biomasa seca (kg)
- Ln = Logaritmo base 10
- Exp = Exponencial
- p = Densidad básica de la especie
- DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)
- Ht = Altura total (m)
- D = Diámetro de pieza (cm)
- DEN1 = Diámetro del primer entrenudo (cm)
- CEN5 = Circunferencia del entrenudo 5 (cm)
- L = Longitud de transecto (m)
- C = Carbono en biomasa
- Cp = Categoría de pudrición (0.5, 0.3 y 0.15)
- Ap = Área de la parcela
- Bh = Biomasa húmeda
- Bsm = Biomasa seca de la muestra
- Bhm = Biomasa húmeda de la muestra
- N = Necromasa
- Nh = Necromasa húmeda
- Nsm = Necromasa seca de la muestra
- Nhm = Necromasa húmeda de la muestra
- Fc = Fracción de C en la biomasa seca (0,473)

Para obtener la densidad de la madera se recomienda usar la base datos de Zanne et al (2009), que se encuentra disponible en:
<http://db.worldagroforestry.org/wd>



Recomendaciones para el uso de las ecuaciones alométricas

- Verificar las unidades requeridas por la ecuación, por ejemplo: en el caso de las alturas podrían requerir metros en vez de pies, otras requieren circunferencia en vez de diámetro o al contrario.
- En la planificación del trabajo de campo es necesario identificar las variables biométricas (DAP, Hc, Ht, D, C, entre otras) que requieren las ecuaciones. Por ejemplo: la mayoría de ecuaciones usadas en palmeras solo requieren la Ht, para el caso de árboles es el DAP, sin embargo, se recomienda tomar ambas variables de manera que se

pueda probar varias ecuaciones y finalmente elegir la que mejor se ajusta a los objetivos del proyecto.

- Verificar los rangos diamétricos y de altura para la cual fue generada la ecuación, estos rangos generalmente son establecidos por sus autores; es decir, si una ecuación fue generada con individuos en rangos diamétricos entre 5 a 15 cm, su funcionalidad será óptima con este mismo rango, de usarse con rangos superiores e inferiores podría sub o sobreestimar la biomasa de los individuos (Tabla 6).
- Identificación satisfactoria de las especies evaluadas, tal como observamos en la Tabla 6. Existen ecuaciones específicas para cada especie; por ello, resulta indispensable su identificación en campo, de no ser posible se debe tomar una muestra botánica y solicitar su identificación en herbario. De igual manera, para el uso de la ecuación de Chave et al (2014) se requiere la densidad básica de la especie.
- Verificar la zona de procedencia de la ecuación bosques naturales o plantaciones, aunque esta recomendación resulte lógica, algunas veces se usan ecuaciones desarrolladas para la misma especie pensando que es suficiente. Sin embargo, la ecuación seleccionada ha sido desarrollada en otras latitudes o tipos de bosque muy distintos, con variables edafoclimáticas diferentes a la zona de trabajo. Se recomienda usar ecuaciones de zonas similares.
- Tener cuidado en la sintaxis al introducir las fórmulas en Microsoft Excel, de ser necesario buscar un especialista, dado que, las funciones Ln y Exp requieren un correcto uso de los paréntesis.

CANTIDAD, TAMAÑO Y DISEÑO DE PARCELAS

Cantidad de parcelas

Freese (1962); McDicken (1997); Schegel et al (2001); Segura y Kanninen (2005), sostienen que la determinación de la cantidad y tipos de parcelas a utilizar se debe definir con un nivel de precisión muestral de entre 5 y 20%, con la finalidad de medir y/o monitorear el carbono almacenado en cada estrato y la totalidad del proyecto.

La cantidad de parcelas depende de la estimación de la varianza en las variables de cada estrato: Carbono almacenado en árboles y suelo.

Por lo tanto, el tamaño de la muestra puede calcularse una vez conocidos los siguientes datos:

- Varianza estimada en cada estrato
- Superficie de cada estrato
- Grado de precisión (sobre el error de muestreo)

· Error de estimación

Se puede estimar el número de parcelas con base en un pre muestreo de un total de 4 a 8 parcelas, usando la siguiente fórmula.

$$n = \left[\frac{t * s}{\left(\frac{Syx * X}{100} \right)} \right]^2$$

Recuerda que mientras menos área tenga tu parcela mas variación tendrás en tus datos



Donde:

- N = Número de parcelas de pre muestreo
- Syx = Error de la estimación (%)
- t = Valor de "t" de Student, de acuerdo con el tamaño de muestra y la probabilidad deseada
- S = Varianza
- X = Media

Tamaño de parcelas

La estimación de carbono en los bosques y plantaciones de bambú y otros sistemas de uso de la tierra recomienda usar un área mínima de 250 m² (Rügnitz et al. 2009). De igual manera, Wagner et al (2010); Yepes et al (2011) indican que a mayor numero y tamaño de parcelas se obtiene menor error de muestreo (Figura 5).

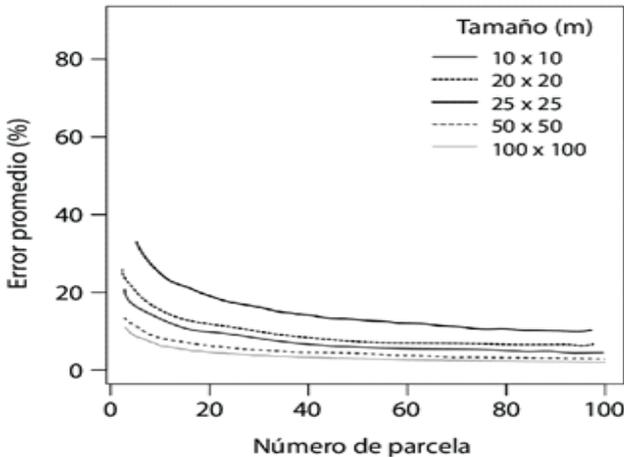


Figura 5. Efecto del tamaño y número de parcelas en el error estándar promedio de la estimación de la biomasa aérea.

Así mismo, MacDicken (1997) presenta una tabla para estimar el mejor tamaño de la parcela de medición según el área basal y la dispersión de individuos.

Tabla 7. Tamaño de parcela y su aplicación en diferentes usos de suelo.

Área por árbol (m ² /árbol)	Tamaño de la Parcela (m ²)	Aplicación
0 – 15	100	Vegetación muy densa, rodales con gran número de tallos de diámetros pequeños, distribución uniforme de tallos grandes
15 – 40	250	Vegetación leñosa normalmente densa
40 – 70	500	Vegetación leñosa normalmente esparcida
70 – 100	666.7	Vegetación leñosa esparcida
> 100	1000	Vegetación leñosa muy esparcida

Fuente: MacDicken (1997).

Forma y diseño de parcelas

Para el muestreo de carbono se recomienda utilizar parcelas rectangulares y anidadas debido a que resulta más fácil establecerlo en campo; sin embargo, existen otras formas y diseños que se aplican según las condiciones del área de muestreo (Figuras 6, 7 y 8).

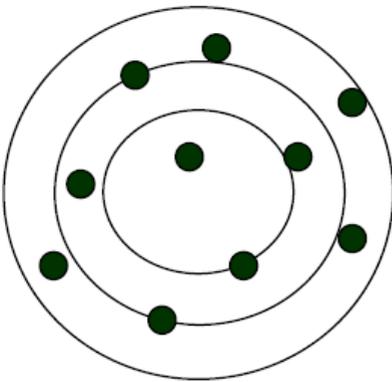


Figura 6. Parcela circular, generalmente usada para regeneración natural, pastizales y zonas con baja cobertura boscosa.

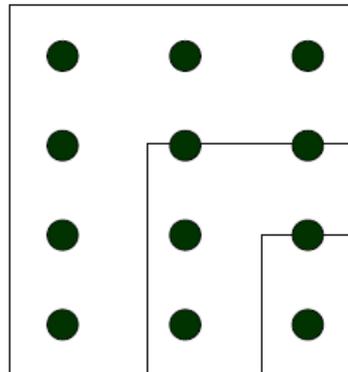


Figura 7. Parcela cuadrado o rectangular, usada generalmente en bosques naturales y sistemas agroforestales.



Figura 8. Parcela lineal usada para plantaciones, cercos vivos, cortinas rompe vientos, evaluación de tocones y árboles en pie.

Fuente: Andrade e Ibrahim (2003)

Carbono en el suelo

Los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres, esto se deben principalmente al alto contenido de materia orgánica en su suelo, pues contienen cuatro veces más carbono que en la vegetación. Por eso su importancia en los mecanismos de secuestro de carbono (Freitas et al. 2006; Jandl, 2006).

Muestreo del suelo

En bosques y plantaciones de bambú, es recomendable usar 4 profundidades de muestreo: 0-15, 15-30, 30-50 y 50-100 cm (Figura 9), el mínimo aceptado por el IPCC es de 30 cm de profundidad.

Las muestras de suelo, tanto para análisis químico de carbono orgánico del suelo "COS", y densidad aparente "DA" deben ser recogidas del mismo espacio donde se extrajeron las muestras de biomasa herbácea y hojarasca, siempre que no se haya perturbado la estructura del suelo, la colecta de muestras se utiliza un barreno (Foto 20) y un pequeño cilindro con volumen conocido (generalmente de 100 cm³) o en su defecto, se puede usar un contenedor adaptado al barreno.

Es recomendable colectar tres muestras por profundidad para el análisis de COS (Figura 9) y una para DA, todas ellas debidamente codificadas (Fotos 21, 22, 23, 24, 25 y 26).



Foto 20. Tipos de barrenos para extracción de muestras de suelo.

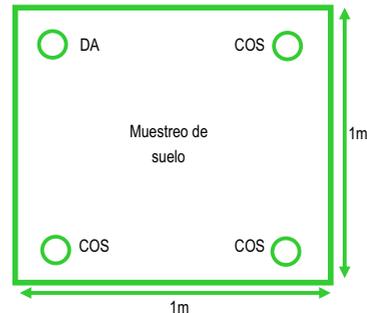


Figura 9. Cuadrante para el muestreo de suelo. Fuente: Rognitz et al (2009).



Foto 21. Uso del barreno para colecta muestras de suelo para el análisis de COS.



Foto 22. Muestra de suelo extraída por el barreno del horizonte del suelo



Foto 23. Barreno con las muestras de suelo ya extraídas.



Foto 24. Contenedor para DA adaptado a un barreno.



Foto 25. Colecta muestras de suelo en bolsas auto selladas.



Foto 26. Muestras de suelo empacadas para llevar al laboratorio.

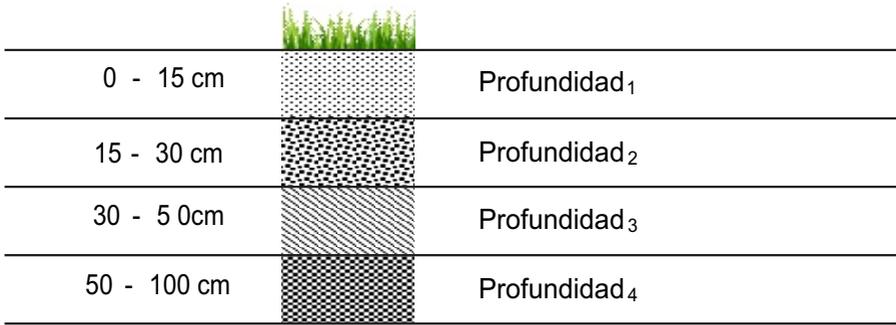


Figura 10. Profundidades del suelo para recolectar las muestras.

Cálculo de la densidad aparente del suelo

Se considera dos pasos:

Paso 1: calcular el volumen de cilindro muestreador de suelo,

Paso 2: calcular la densidad aparente del suelo.

Se requiere el peso de masa seca de suelo, la cual se obtiene secando la muestra de suelo en estufa a 105 °C hasta obtener un peso constante y el volumen del cilindro del paso 1.

Estos valores se calculan con las siguientes formulas:

$$Vs = \pi * r^2 * h$$

$$DA = \frac{Pms}{Vs}$$

Donde:

Vs = Volumen del suelo o cilindro (cm³)

π = 3.1416

h = Altura del cilindro

Donde:

DA = Densidad aparente g/cm³

Pms = Peso seco de la muestra (g)

Vs = Volumen del suelo o cilindro (cm³)

Cálculo del Porcentaje de COS

El cálculo se realiza enviando las muestras al laboratorio, estos usan mayormente los siguientes métodos:

Método 1: Con un analizador automático donde el resultado es bastante preciso y genera el porcentaje de carbono y nitrógeno en un volumen conocido de muestra, una desventaja de este método es el alto costo de adquisición del equipo y de cada análisis.

Método 2: Método de combustión húmeda de Walkey-Black (1934) donde el valor obtenido debe ser afectado por un factor de 1.32 debido a que sólo el 76% del carbono se oxida durante el análisis (Nelson y Sommers, 1996). A pesar que este método es muy usado, una desventaja es que el porcentaje de oxidación del carbono puede variar en función al tipo del suelo.

Otros métodos más sencillos podrían ser utilizados como pérdida de ignición o digestión con H_2O_2 . Sin embargo, si se requiere un mínimo de precisión, con estos métodos sólo se obtendrá una estimación vaga del porcentaje de carbono en el suelo.

Cálculo del carbono del suelo por profundidades

Una vez calculados la DA del suelo y el % de COS en laboratorio, se puede calcular la cantidad de carbono que hay en cada profundidad, usando la siguiente formula:

$$C = \%COS * DA * P$$

- C = Carbono orgánico del suelo (toneladas)
- %COS = % de Carbono orgánico del suelo
- DA = Densidad aparente (cm^3)
- P = Profundidad del suelo (cm)

Ejemplo:

Tenemos un suelo con un % de COS = 2.5; con una DA = 0.85 y una profundidad de muestreo de 25 cm, aplicamos la fórmula:

$$\begin{aligned} C &= \%COS * DA * P \\ C &= 2.5 * 0.85 * 25 \\ C &= 53.125 \text{ t C ha}^{-1} \end{aligned}$$

Dado que la pedregosidad afecta la densidad aparente del suelo (Stewart et al. 1970), es necesario verificar si en las muestras se encuentran piedras, de ser así, se debe aplicar la siguiente formula:

$$C = \frac{\%COS * DA * P * \%SSP}{100}$$

- C = Carbono orgánico del suelo (toneladas)
- %COS = % de Carbono orgánico del suelo
- DA = Densidad aparente (cm^3)
- P = Profundidad del suelo (cm)
- %SSP = % de suelo sin piedras

Para determinar el %SSP se recomienda tomar muestras de cada profundidad determinándose el volumen total de suelo por el método de la excavación y volumen de piedra correspondiente por desplazamiento en agua (Pla, 1977).

Biomasa bajo el suelo

En la estimación de la biomasa bajo el suelo se utilizan factores de expansión. Es la relación entre la biomasa aérea y la biomasa subterránea o raíces (IPCC, 2006).

Para bosques tropicales (Tabla 8) estos varían en promedio desde: 0.20 a 0.56 (Fittkau & Klinge, 1973; Mokany et al. 2006; Poupon, 1980; Singh et al. 1994) citado por Phillips et al (2011).

Tabla 8. Factores de expansión de la relación biomasa aérea/biomasa subterránea o raíces.

Dominio	Zona Ecológica	Biomasa aérea	R (relación)	Referencias
Tropical	Bosque tropical lluvioso	N/A	0,37	Fittkau y Klinge, 1973
	Bosque tropical húmedo de hojas caducas	biomasa aérea <125 t ha ⁻¹	0,20 (0,09 - 0,25)	Mokany et al. 2006
		biomasa aérea >125 t ha ⁻¹	0,24 (0,22 - 0,33)	Mokany et al. 2006
	Bosque tropical seco	biomasa aérea <20 t ha ⁻¹	0,56 (0,28 - 0,68)	Mokany et al. 2006
		biomasa aérea >20 t ha ⁻¹	0,28 (0,27 - 0,28)	Mokany et al. 2006
	Arbustos tropicales	N/A	0,4	Poupon, 1980
Sistemas montañosos tropicales	N/A	0,27 (0,27 - 0,28)	Singh et al. 1994	

Fuente: Phillips et al. 2011.

Así mismo, existe metodologías de muestreo directo de raíces, siendo los más resistidos, por su complejidad y su alto costo, es aún más difícil en los ecosistemas de bambú dada la cantidad de raíces que desarrollan. Sin embargo, si existe la disponibilidad de fondos económicos, se debe seguir la metodología descrita por Morales (1997); Hertel et al (2003); Jackson, (1997).

GENERACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA BAMBÚ

Definición de Alometría

Es el estudio de la tasa de crecimiento de una parte de un organismo en relación al crecimiento del organismo y el cambio resultante en la

proporción de varias partes a medida que el organismo crece (NAL, 2021).

La ecuación alométrica es un modelo matemático que utiliza variables de fácil medición: Ht, DAP, etc, con las cuales se permite estimar la biomasa y el carbono principalmente (Segura & Andrade, 2008). Es construida a partir del análisis de regresión (García-Soria et al. 2015).

Por lo cual, MacDicken (1997), indica que para generar estas ecuaciones se necesita como mínimo 30 árboles como muestra representativa.

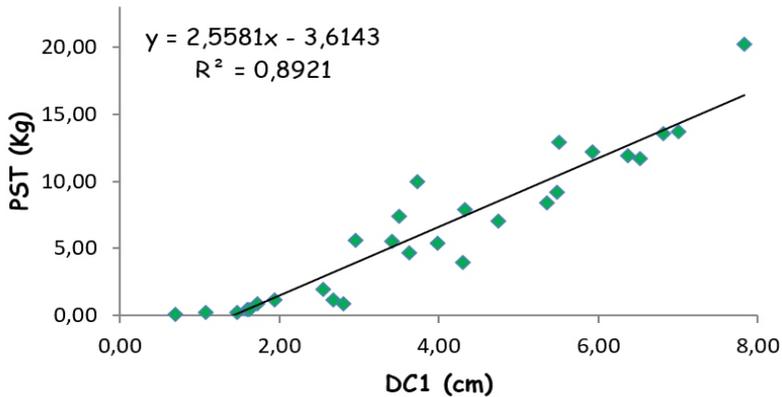


Figura 11. Regresión entre la biomasa seca total (BTS) y el diámetro del primer culmo (DC1) de bambú (García-Soria et al. 2015).

Construcción de ecuaciones alométricas de bambú

Se requiere la recolección de datos biométricos y muestras en campo de varios individuos, con la finalidad de calcular la relación peso seco/peso fresco de cada componente, así como la biomasa total.

Se sigue los siguientes pasos:

Selección de individuos

- 1) Realizar un diagnóstico de los bambúes existentes en el área de estudio para determinar su rango diamétrico.
- 2) Según el rango diamétrico, estratificar los individuos por clases diamétricas: por ejemplo, en bambúes con un rango diamétrico de 2 a 8 cm, las clases diamétricas pueden ser tres: de 2 a 4 cm, 4 a 6 cm y > 6 cm.
- 3) Una vez determinada las clases diamétricas, ubicar de manera aleatoria como mínimo 30 individuos (10 individuos en cada clase diamétrica).

4) Medición, corte y pesado de todos los individuos.

Según el objetivo del estudio, los bambúes seleccionados no deben presentar deformidades o enfermedades fitosanitarias. Asimismo, serán seleccionados preferentemente los individuos que presenten todas sus partes (culmo o tallo, ramas y hojas).

Cantidad a coleccionar

El tamaño de la muestra se determina siguiendo los principios metodológicos de Picard et al (2012), basada en la varianza de los caracteres morfológicos de la especie; es decir, cuanto menos variable sea el material, la muestra estará compuesta de menos individuos o, al contrario.

Selección de variables a medir

Estas variables dependen de la arquitectura de las especies estudiadas, en caso del bambú se usa generalmente el diámetro de la base del culmo y la Ht. Sin embargo, es necesario medir la mayor cantidad de variables para tener más opciones en los análisis de regresión (Figuras 12 y 13).

- Altura total (incluye punta de la rama apical)
- Altura de tallo (no incluye rama apical)
- Altura hasta la primera rama (altura comercial)
- Altura de copa (desde la primera rama hasta la punta de la rama apical)
- Diámetro de los cinco primeros entre nudos (DEN)

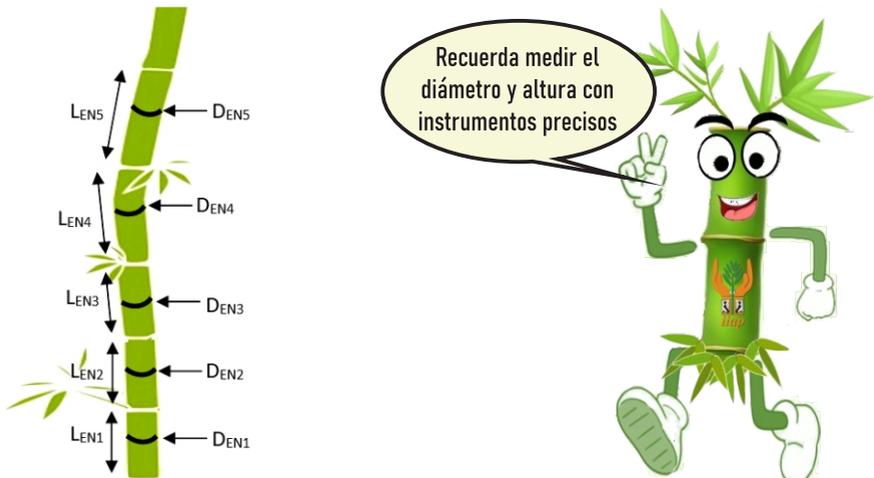


Figura 12. Puntos de medición en el tallo y culmos del bambú nativo.

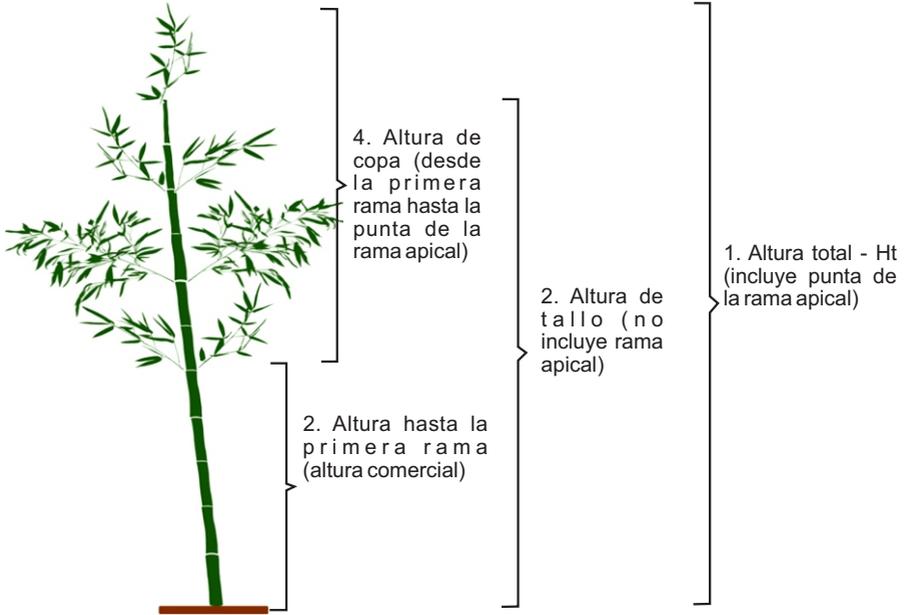


Figura 13. Medición de alturas en los individuos de bambú nativo.

Corte de individuos y extracción de muestras

Se realizan desde la base del bambú al nivel del suelo (Foto 27), seguidamente se separa cada individuo en: tallo, ramas y hojas. Los tallos serán seccionados en tres partes del mismo largo para facilitar su pesado en fresco (Foto 28). Las ramas y hojas se colectan en su totalidad, pesándolas inmediatamente por separado (Foto 29 y 30).



Foto 27. Corte del bambú al nivel del suelo



Foto 28. Pesado de culmos de bambú.

La colecta de muestras se obtienen de las siguientes partes de cada individuo de bambú:

- 1 muestra de hojas, (homogenizar el total de hojas para obtener una muestra representativa de aproximadamente 0.5 kg).
- 1 muestra de ramas (homogenizar el total de ramas para obtener una muestra representativa de aproximadamente 1 kg, de tener mucha variabilidad en el diámetro de las ramas se debe tomar mas muestras dividas en ramas gruesas, ramas medias y delgadas).
- 3 muestras de tallo, 1 muestra de la base del tallo, 1 muestra de la mitad del tallo y 1 muestra del ápice del tallo.

Posteriormente las muestras se codifican y se preservan en bolsas para su traslado al laboratorio y proceder al secado en el horno.



Foto 29. Colecta de hojas de bambú para su pesado.



Foto 30. Pesado de ramas de bambú.

Procesamiento de muestras en el laboratorio

En el laboratorio, previo al secado se procede a cuantificar el peso inicial de las muestras (Fotos 31, 32 y 33), seguidamente utilizando un horno eléctrico a convección forzada se inicia el secado de las muestras a una temperatura de 65°C hasta obtener un peso constante, esto ocurre alrededor de 5 días (Foto 34).

Una vez obtenido los pesos secos de cada una de las muestras se determina la biomasa seca de cada componente (tallos, ramas y hojas), multiplicando el peso fresco por el porcentaje de materia seca. Los resultados de cada componente sumados, se considera la biomasa seca total de cada individuo (Acosta et al. 2002).



Foto 31. Pesado de muestras de parte media del culmo de bambú en laboratorio.



Foto 32. Pesado de muestras de hojas de bambú en laboratorio.



Foto 33. Pesado de muestras de ramas de bambú en laboratorio.



Foto 34. Secado de muestras de bambú en laboratorio.



Exploración gráfica y análisis estadístico de datos

Se genera una base de datos matriz desarrollada con ayuda de Microsoft Excel con las variables mencionadas en las Figuras 12 y 13, agregando: biomasa seca de tallo o culmo (BST), biomasa seca de ramas (BSR), biomasa seca de hojas (BSH) y biomasa Seca total (BST).

Seguidamente se procede a generar gráficos considerando en el eje "X" el diámetro o circunferencia de los 5 primeros entrenudos (DEN o CEN), de igual manera, se pueden considerar en ese mismo eje la altura total, altura comercial, y longitud de copa; y en el eje "Y" la Biomasa Seca Total de cada individuo.

Para obtener las ecuaciones se realiza un análisis de regresión, utilizando Microsoft Excel u otro software estadístico (SPSS, Infostat, R, entre otros).

Para la selección de la ecuación con mejor ajuste se utilizan principalmente los parámetros estadísticos: mayor coeficiente de determinación - R^2 (Figuras 14 y 15), mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2 Aj), menor error típico con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ (Daba & Soromessa, 2019, Araujo-Farias et al. 2019).

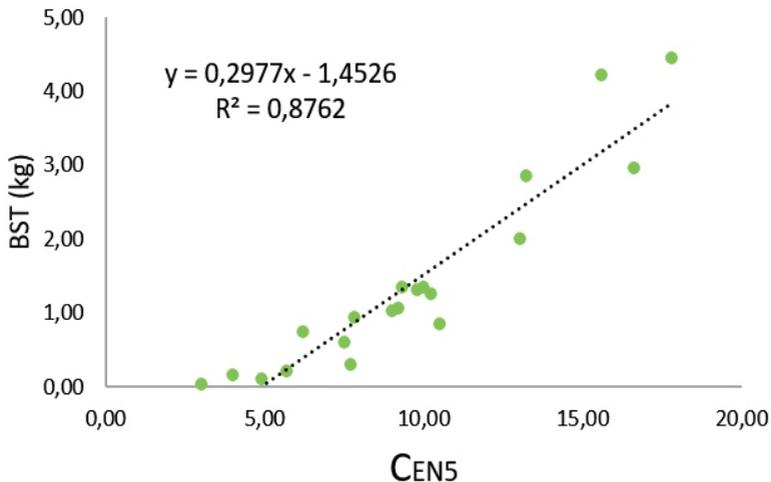


Figura 14. Regresión lineal entre la Biomasa seca total (BST) y la CEN5 de la *Guadua superba*.

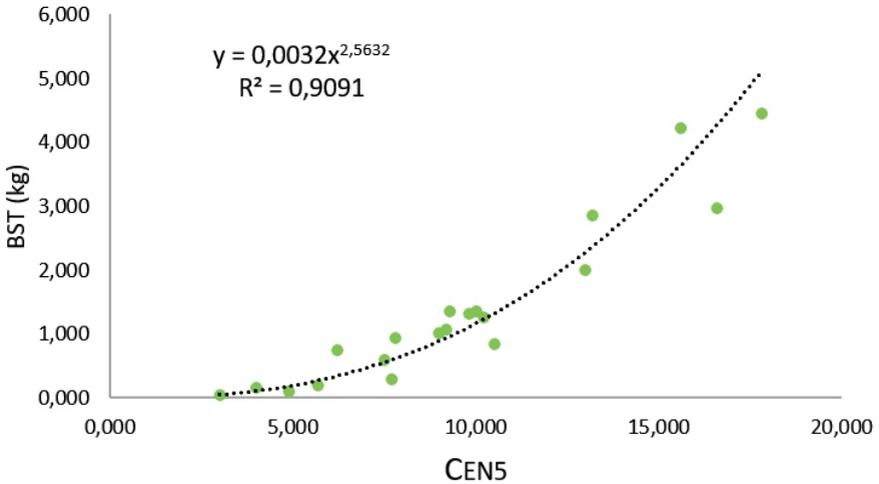


Figura 15. Regresión no lineal (potencial) entre la Biomasa Total Seca (BST) y la CEN5 de *Guadua superba*.

BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIONES DE BAMBÚ NATIVO



Foto 35. Plantación de bambú (*Dendrocalamus asper*).

La medición y el monitoreo de la biomasa y carbono en plantaciones de bambú nativo o exótico no varía en gran medida de la metodología para bosques naturales con bambú, es más, se simplifica dado que las plantaciones son ecosistemas mucho menos diversos que los bosques, por lo cual, su biomasa y carbono son menos difíciles de medir y monitorear (Foto 35), en las plantaciones solo se encuentra el bambú, las herbáceas, necromasa y el COS y otras especies que no representan competencia para el cultivo principal.

Biomasa y carbono aéreo

Existen muchos estudios sobre el cálculo de la biomasa y carbono en plantaciones del bambú, diferenciándose principalmente en los depósitos de biomasa que se desea medir o monitorear; es decir, según los

objetivos del estudio se puede medir solo el componente de bambú dejando de lado las herbáceas, necromasa y carbono en el suelo. Sin embargo, se recomienda medir la mayor cantidad de depósitos de carbono para obtener más información que ayude a mostrar la plantación en su verdadera dimensión.

Estratificación de la plantación

Se puede encontrar plantaciones de bambú con diferentes especies, edades y clases diamétricas, por lo cual se vuelve importante estratificar el muestreo: por especies, edades y clases diamétricas; adicionalmente se puede estratificar por la topografía del terreno, uso previo, sistema de siembra, etc., esto con la finalidad de tener mayor precisión en las estimaciones de biomasa y carbono.

Uso de ecuaciones alométricas en plantaciones

El tema de las ecuaciones alométricas específicas se vuelve indispensable para el caso de las plantaciones de bambú; es decir, prácticamente en todos los trabajos sobre biomasa y carbono en plantaciones se han desarrollado una ecuación alométrica específica, es recomendable generar en cada estudio una ecuación por especie.

Línea base de biomasa y carbono para plantaciones de bambú.

Una práctica muy poco difundida al momento de planificar una plantación es el establecimiento de una línea base de biomasa y carbono, el objetivo es definir los cambios en el estado de la biomasa y carbono previo a la instalación de la plantación.

Por ejemplo, se debe registrar los antecedentes del área (pastizal, bosque, cultivo agrícola y otros), digamos que se cuenta con una cobertura de pastizal, a simple vista podemos afirmar que una plantación de bambú va acumular mucho más carbono que las herbáceas, siendo el

Recuerda identificar
en un mapa todos los estratos de la
plantación de bambú, siendo de gran ayuda
para la planificación del
estudio.



balance de carbono positivo. En conclusión, estamos contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

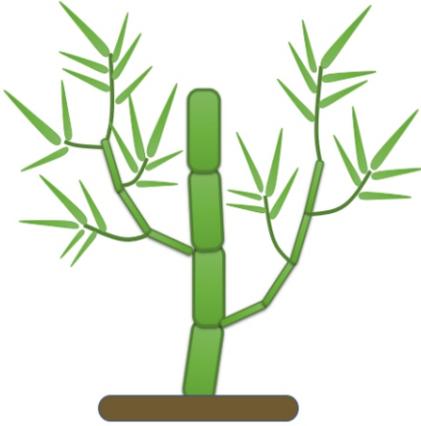


Figura 16. Esqueje de bambú.

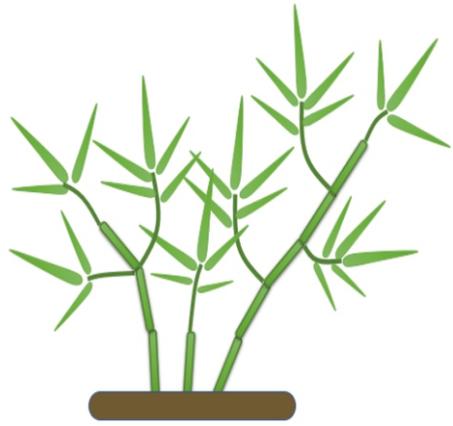


Figura 17. Chusquin de bambú.

De igual manera, en las plantaciones de bambú las evaluaciones de biomasa y carbono se realizan a partir del tercer año, dado que a esa edad las plantas emiten sus primeros brotes gruesos. Sin embargo, al momento de la instalación de la plantación podemos usar dos tipos de plantas según su modo de propagación: por estacas o esquejes y por chusquines (Figura 16 y 17), teniendo estas suficiente biomasa para iniciar el monitoreo a cuatro meses de la instalación, para ello se recomienda la técnica del árbol promedio propuesta por MacDicken (1997), que, adaptándola a bambú, consiste en la medición de las variables según tipo de planta:

- 1) Estacas o esquejes: diámetro de esqueje, altura de esqueje, diámetro de cada rama, largo de cada rama, número de sub ramas y diámetro de brotes (de estar presente).
- 2) Chusquines: número de brotes, diámetro de cada brote, altura de cada brote, diámetro de cada rama, largo de cada rama y número de sub ramas.

Una vez obtenidos los datos de las variables biométricas con los diferentes tipos de plantas se procede al cálculo del promedio.

Posteriormente se identifica en campo un individuo por tipo de planta que sea igual o similar a los promedios encontrados previamente, para ser usado como muestra y ser cortados, pesados y secados en laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Mireles M., Vargas-Hernández JD., Etchevers-Barra JD., Velásquez-Martínez A. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 6: 725-736. 2002.
- Alegría A. Manejo sostenible del recurso *Guadua angustifolia* en Costa Rica y su potencial para la mitigación del cambio climático. Cartago, Costa Rica. 2013.
- Andrade H., Ibrahim M. 2003. Como monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles Agroforestería en las Américas. 10(39-40): 109-116. 2003
- Araújo-Farias A., Gezan SA., Pisaroglo MDC., Ferraz AC., Boechat CP. Allometric Equations to Predict *Pinus palustris* Biomass in the Southeastern United States. *Floresta e Ambiente*. 26(1): e20180403. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.040318>
- Camargo J.C., Chará J., Giraldo L., Chará-Serna A., Pedraza G. Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la Ecorregión Cafetera de Colombia. *Efectos sobre propiedades del suelo. Recursos Naturales y Ambiente* 61: 47-53. 2011.
- Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A., Chidumayo E., Colgan M., Delitti W., Duque A., Eid T., Fearnside P., Goodman R., Henry M., Martínez-Yrizar A, Mugasha W., Muller-Landau H., Mencuccini M., Nelson B., Ngomanda A., Nogueira E., Ortiz-Malavassi E., Pélissier R., Ploton P., Ryan C., Saldarriaga J. Vieilledent G. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob Chang Biol Bioenergy* 20:3177–3190. 2014.
- Climate-data.org. Clima: Pucallpa, Ucayali. Revisado: 01/11/2021. 2019. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/ucayali/pucallpa-3340/>
- Daba DE., Soromessa T. 2019. Allometric equations for aboveground biomass estimation of *Diospyros abyssinica* (Hiern) F. White tree species. *Ecosystem Health and Sustainability*. 5(1): 86–97. <https://doi.org/10.1080/20964129.2019.1591169>

- Deras, JE. Análisis de la cadena productiva del bambú en Costa Rica. Tesis Magister en Ciencia. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 135 p. 2003.
- Detwiler RP., Hall CAS. Tropical forest and the global carbon cycle. Science 239: 42-47. 1988.
- Freitas L., Otárola E., Del Castillo D., Linares C., Martínez P., Malca G. Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la reserva nacional Pacaya Samiria, Loreto – Perú. Documento técnico N° 29. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. 65 p. 2006.
- Freese F. Muestreo forestal elemental. USDA FS Agriculture Handbook Num. 232. Washington, DC, USA. 91 p. 1962.
- García-Soria D. Manual práctico para la toma de datos de carbono en el inventario de Bosques de Producción Permanente– BPPs de Ucayali. 1. ed. - Ucayali, Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Gobierno Regional de Ucayali (GOREU). Ministerio de Agricultura y Riego (NIMAGRI). Perú Forest Sector Initiative (PFSI). 26 p. 2013.
- García-Soria DG., Abanto C., Del Castillo D. Determinación de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea de *Guadua sarcocarpa* Londoño & P. M. Peterson de la Comunidad Nativa Bufeo Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, VOL. 24 (2) 2015: 139 – 144. 2015.
- García-Soria DG; Honorio E., Del Castillo D. Determinación del stock de carbono en aguajales de la cuenca del río Aguaytía, Ucayali – Perú. *Folia Amazónica*. Vols. 21 (1-2) 153-160. 2013.
- Giraldo E., Sabogal A. Una alternativa sostenible: La guadua. Técnicas de cultivo y manejo. Ed. Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q. Colombia. 192 p. 1999.
- GOREU. Plan vial departamental participativo de Ucayali 2017 – 2026. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Pucallpa. 163 p. 2017.
- Harmon ME., Ferrell WK., Franklin JF. Effects on carbon storage of conversion old-growth forests to young forests. Science 247: 699-702.1990.

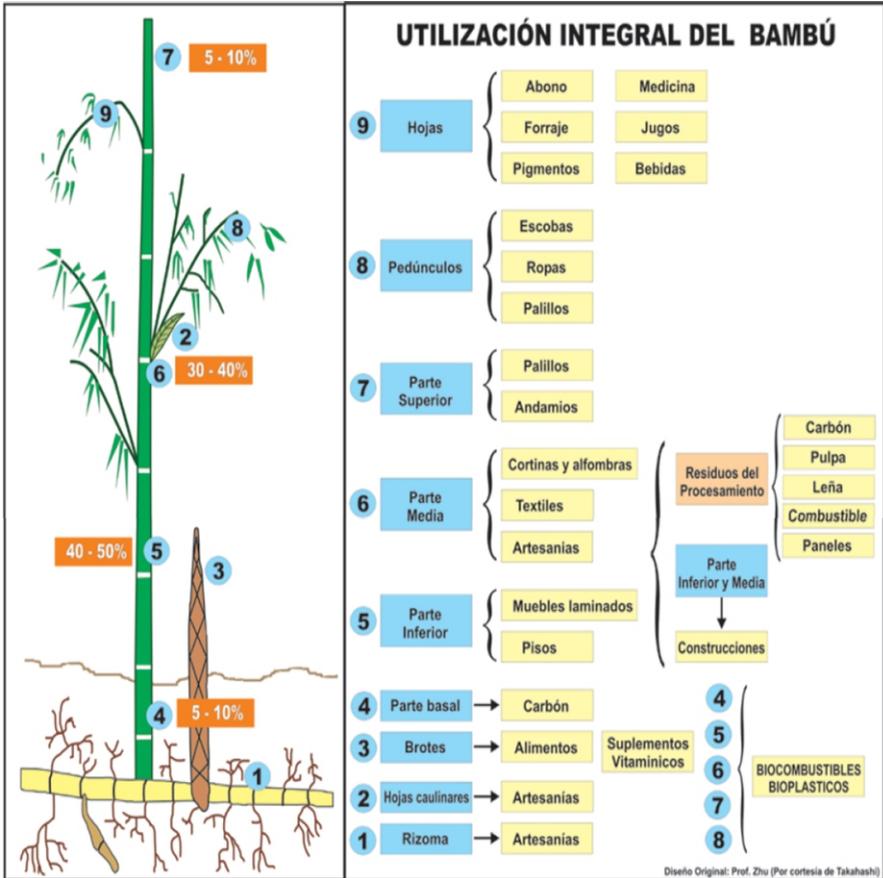
- Hertel D., Leuschner C., Hölscher. 2003. Size and structure of fine root systems in old-growth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). *Biotropica*. 35(2):143-153. 2003.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme: Eggleston HS., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Eds). Published by: IGES, Japón. 2006.
- IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry (en línea). 2003. Disponible en <http://www.ipcc-nggip-iges.or.jp>
- IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte V., Zhai, A., Pirani SL]. 2021
- Jackson R., Mooney H., Schulze, DA. Global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Ecology*. National Academy of Sciences. 94:7362-7366. 1997.
- Jandl R. Secuestro de carbono en Bosques – El Papel del suelo. *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1 N° 1. IUFRO. Centro de Investigación Forestal. Viena, Austria. 2006.
- Mac Dicken KG. Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, US, Winrock International. 87 p. 1997.
- Ministerio del Ambiente — MINAM. Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima, Perú. 108 p. 2015.
- Montiel M., Sánchez E. Ultraestructura de bambúes del género *Dendrocalamus* (Poaceae: Bambusoideae) cultivados en Costa Rica. *Revista biología tropical* V54. Supl. 2. San José, C.R. 2006.
- Morales A. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. In: Simposio Internacional - Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. 11 p. 1997.
- National Agriculture Library - NAL. Agricultural Thesaurus and Glossary, U. S.

- Department of Agriculture. Acceso 30/03/2021. 2021. Disponible en: <https://agclass.nal.usda.gov/mtwdk.exe?k=glossary&l=60&w=640&s=5&t=2>
- NASA—Global Climate Change. The Causes of Climate Change. 2022. (Accesado: 08/03/2022). En línea disponible en: <https://climate.nasa.gov/causes/>
- Nelson DW., Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: Methods of Soil Analysis, Part 2. 2nd ed., A.L. Page et al. Ed. Agronomy. 9:961-1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI. 1996.
- Ortega F., Villareal J. Caracterización Forestal y Productiva de la Guadua. Pitalito, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. 2014.
- Pla I. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación en condiciones tropicales. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela. 112 p. 1997.
- Picard N., Saint-André L., Henry M. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Roma, Italia. Montpellier, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. 2012.
- Phillips JF., Duque AJ., Yepes AP., Cabrera KR., García MC., Navarrete DA., Álvarez E., Cárdenas D. Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales -IDEAM- Bogotá DC, Colombia. 68 pp. 2011.
- Phillips OL., Baker T., Feldpausch T., Brienen R. RAINFOR field manual for plot establishment and remeasurement. (Amazon Forest Inventory Network, 2018, 27 pp.). DOI: [10.23635/forestplots.net/2018](https://doi.org/10.23635/forestplots.net/2018)
- Rügnitz MT., Chacón ML., Porro R. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -1ra. Edición. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p. 2009.

- Schlegel B., Gayoso J., Guerra, J. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral De Chile. 17 p. 2001.
- Sharma BD., Vu Tan Phuong SRS. Generating Forest Biomass Carbon Stock Estimates for Mapping the Potential of REDD+ to deliver biodiversity conservation in Vietnam. SNV – The Netherlands Development Organisation, Ho Chi Minh City. 20 p. 2013.
- Segura M., Andrade H. ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. Agroforestería en las Américas N° 46. CATIE. 2008. pp. 89-96. 2008.
- Segura M., Kanninen M. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica* 37(1):2-8. 2005.
- Stewart VI., Adams WA., Abdullah HH. Quantitative pedological studies on soils derived from Silurian mudstones II. The relationship between Stone content and the apparent density of the fine earth. *J. Soil Sci* 21: 248-255. 1970.
- Wagner F., Rutishauser E., Blanc L., Herault B. Effects of Plot Size and Census Interval on Descriptors of Forest Structure and Dynamics. *Biotropica*, 42(6), 664-671. 2010. Doi: [10.1111/j.1744-7429.2010.00644.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00644.x)
- Walkley A., Black AI. An examination of the Degtjoreff method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38 p. 1934.
- Yepes AP., Navarrete DA., Duque AJ., Phillips JF., Cabrera KR., Alvarez E., Ordoñez MF. Protocolo para la estimación nacional y sub nacional de biomasa - carbono en Colombia. (PDF Versión). Recuperado de: <http://documentación.ideam.gov.co/penbiblio/Bvirtual/022101/022101.htm>
- Zanne AE., López-González G., Coomes DA., Ilic J., Jansen S., Lewis SL., Miller RB., Swenson NG., Wiemann MC., Chave J. Global Wood density database. *Dryad*. Identifier. 2009. (Accesado: 10/11/2021). Disponible en: <http://db.worldagroforestry.org/wd>

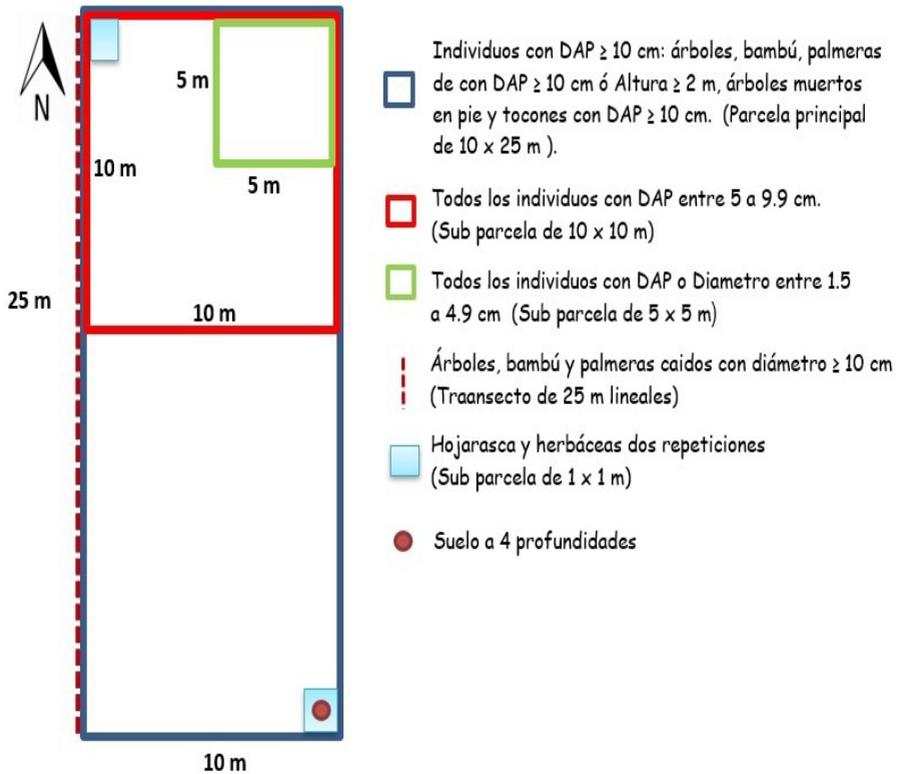
Anexo

Anexo 1. Partes y usos del bambú (Plan nacional de promoción del bambú 2008 - 2020).



Fuente: Plan nacional de promoción del bambú 2008 - 2020.

Anexo 2. Diseño de parcela para mediciones de biomasa y carbono en bosques de bambú.



AGRADECIMIENTO

IIAP agradece la participación y colaboración del Instituto Tecnológico de la Producción en el proyecto “Determinación del comportamiento a la propagación clonal, industrialización y captura de carbono de tres especies de bambú nativo en la Amazonia Peruana” y al financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación Tecnológica, Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados – ProCiencia y al Banco Mundial



BANCO MUNDIAL
BIRF • AIF | GRUPO BANCO MUNDIAL

ISBN: 978-612-4372-42-1



Guadua superba Huber.