Revista de Investigación Científica
TAYACAJA
ISSNe: 2617-9156
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo

Monitoreo del crecimiento y estimación de carbono en una plantación de Guadua angustifolia Kunth de dos años en Tulumayo, Huánuco, Perú

Growth monitoring and carbon estimation in a two-year-old Guadua angustifolia Kunth plantation in Tulumayo, Huánuco, Peru

Diana Angie Eugenio Miguel[1], **Edilberto Diaz Quintana**[1], **Gunter Daza Panduro**[1], **Alexander Mesias Morales**[1]

[1] Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú

RESUMEN

El estudio monitoreó el crecimiento temprano de una plantación de Guadua angustifolia Kunth de dos años establecida en Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú, y estimó su biomasa aérea, carbono almacenado y dióxido de carbono secuestrado. La investigación fue aplicada, descriptiva-correlacional y longitudinal. Se evaluó una población de 112 matas en 0,36 ha y se seleccionaron 20 muestras representativas mediante muestreo sistemático para mediciones dasométricas y análisis destructivo de biomasa. Se registraron el número de cañas, diámetro, altura y brotes; además, se calculó la biomasa seca, el carbono y el CO_2 equivalente. Los resultados mostraron 6,21 ± 0,495 cañas por mata, diámetro promedio de 4,11 ± 0,227 cm y altura de 5,75 ± 0,324 m. La biomasa aérea estimada fue de 34,87 t/ha, equivalente a 17,44 t C/ha y 63,99 t CO_2/ha. Los modelos alométricos basados en diámetro explicaron mejor la variabilidad del CO_2 que los basados solo en altura; el modelo polinómico de tercer grado presentó el mayor ajuste (R^2 = 0,27) y el menor error residual (σ = 4,89), aunque su capacidad predictiva fue limitada. Se concluye que la plantación presenta potencial para captura de carbono en etapa juvenil, pero requiere monitoreos posteriores y modelos con variables adicionales para mejorar la precisión de las estimaciones.

Palabras clave: Guadua angustifolia, biomasa aérea, carbono almacenado, dióxido de carbono, modelos alométricos.

ABSTRACT

This study monitored the early growth of a two-year-old Guadua angustifolia Kunth plantation established in Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Peru, and estimated its aboveground biomass, stored carbon, and sequestered carbon dioxide. The research was applied, descriptive-correlational, and longitudinal. A population of 112 clumps in 0.36 ha was evaluated, and 20 representative samples were selected through systematic sampling for dasometric measurements and destructive biomass analysis. The number of culms, diameter, height, and shoots were recorded; dry biomass, carbon, and CO_2 equivalent were also calculated. The results showed 6.21 ± 0.495 culms per clump, an average diameter of 4.11 ± 0.227 cm, and a height of 5.75 ± 0.324 m. Estimated aboveground biomass reached 34.87 t/ha, equivalent to 17.44 t C/ha and 63.99 t CO_2/ha. Diameter-based allometric models explained CO_2 variability better than height-based models. The third-degree polynomial model showed the best fit (R^2 = 0.27) and the lowest residual error (σ = 4.89), although its predictive capacity was limited. The plantation shows potential for carbon capture during the juvenile stage; however, further monitoring and models including additional variables are needed to improve estimation accuracy.

Keywords: Guadua angustifolia, aboveground biomass, stored carbon, carbon dioxide, allometric models.

Volumen 8, Número 1, julio - diciembre, 2026 - Recibido: 15-08-2026, Aceptado: 02-09-2026
https://doi.org/10.46908/tayacaja.v8i1.242

INTRODUCCIÓN

El bambú constituye un recurso lignocelulósico de rápido crecimiento, alta capacidad de rebrote y creciente importancia para la restauración productiva, el abastecimiento de biomasa renovable y la mitigación del cambio climático. Las revisiones recientes destacan que los bosques y plantaciones de bambú aportan simultáneamente beneficios ambientales, productivos y sociales, debido a su capacidad de acumular biomasa, sostener medios de vida rurales y proveer materia prima para cadenas de valor sostenibles (Alamerew et al., 2024; Pan et al., 2023; Sawarkar et al., 2023). En este contexto, los sistemas con bambú se han propuesto como soluciones basadas en la naturaleza, siempre que su manejo se sustente en información cuantitativa sobre crecimiento, biomasa y carbono, y en metodologías verificables para su eventual integración en esquemas de carbono (Pan et al., 2025a; Pan et al., 2025b).

Dentro de los bambúes neotropicales, Guadua angustifolia Kunth posee alta relevancia ecológica y productiva en América Latina, así como potencial para almacenamiento de carbono y aprovechamiento estructural. Estudios en guaduales naturales y plantaciones han indicado que la biomasa y el carbono varían con la edad, la densidad de cañas, el estado de manejo y las condiciones del sitio (Aguirre & Gutiérrez, 2009; Camargo García et al., 2024; García & Del Castillo, 2013; Molina & Montealegre, 2018). En el Perú, las evidencias disponibles aún son principalmente locales y de tesis, por lo que incorporar mediciones de plantaciones jóvenes resulta necesario para fortalecer la planificación silvicultural y las estimaciones tempranas de captura de CO2 (Núñez & Ramírez, 2022; Oblitas, 2022).

La estimación confiable de biomasa y carbono en bambú exige modelos alométricos validados, preferentemente específicos por especie, sitio y edad. La literatura reciente muestra que el diámetro del culmo suele ser una variable predictora sólida, aunque la precisión mejora cuando se combina con altura, densidad de culmos, edad, biomasa por componentes o información estructural de la mata (Kaushal et al., 2022; Kigomo et al., 2025; Li et al., 2024; Ordóñez-Prado et al., 2024; Tesema et al., 2025). Además, los modelos generalizados pueden ser útiles como referencia, pero la transferibilidad entre especies y regiones es limitada; por ello, los estudios locales siguen siendo necesarios para reducir la incertidumbre en inventarios de carbono (Hossain, 2025; Pati et al., 2022; Tesema et al., 2024).

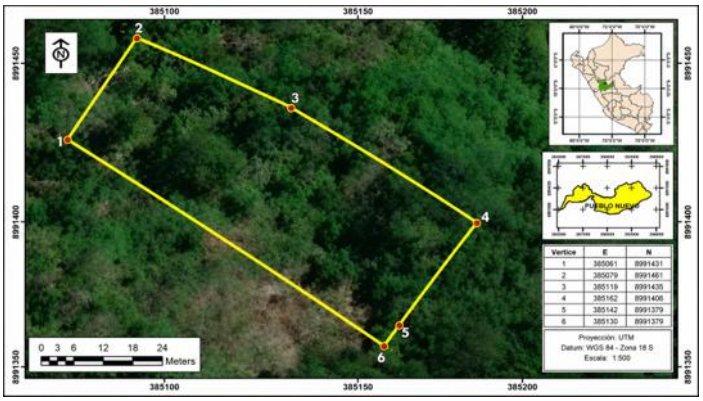
La etapa juvenil de una plantación es especialmente importante porque permite identificar la dinámica inicial de emisión de cañas, brotación, diámetro, altura y acumulación de biomasa. Investigaciones recientes en diferentes especies de bambú han demostrado que el carbono almacenado aumenta con la edad y la estructura del rodal, mientras que los componentes subterráneos y el suelo también pueden representar fracciones relevantes del carbono total (Abebe et al., 2021; Chiti et al., 2024; Jember et al., 2023; Singnar et al., 2021; Yebeyen et al., 2022). En este marco, el presente estudio tuvo como objetivo monitorear el crecimiento de una plantación de G. angustifolia de dos años establecida en Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco; determinar sus variables dasométricas, biomasa aérea, carbono almacenado y CO2 secuestrado; y evaluar modelos alométricos basados en diámetro y altura para la estimación del dióxido de carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo, Anexo Divisoria y Puerto Súngaro (CIPTALD), perteneciente a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado aproximadamente a 26 km de la ciudad de Tingo María, distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. El área de estudio se localizó en las coordenadas UTM 385142 E y 8991379 N, datum WGS 84, y correspondió a una plantación de G. angustifolia de dos años establecida en una superficie aproximada de 0,36 ha (Figura 1).

Figura 1
Mapa de ubicación del área de investigación en el CIPTALD, Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco.



Diseño de investigación y muestreo

El estudio fue aplicado, descriptivo-correlacional y longitudinal, orientado a describir el crecimiento temprano de la plantación y relacionar variables dasométricas con la estimación de biomasa, carbono y CO_2. La población estuvo conformada por 112 matas de G. angustifolia. Para el análisis destructivo y la construcción de modelos alométricos se seleccionaron 20 muestras representativas mediante muestreo sistemático desde un vértice de la parcela, considerando matas con distribución uniforme de cañas y brotes al momento del raleo.

El tamaño de muestra se verificó mediante la ecuación (1) para población finita:

Volumen 8, Número 1, julio - diciembre, 2026 - Recibido: 15-08-2026, Aceptado: 02-09-2026
https://doi.org/10.46908/tayacaja.v8i1.242

$$n = \frac{N \times z^2 \times S^2}{(N-1) \times E^2 + z^2 \times S^2} \text{.....(1)}$$

donde N fue el tamaño poblacional, z el valor asociado al nivel de confianza, S^2 la varianza preliminar y E el error máximo aceptado. Los datos de campo fueron registrados en formatos preestablecidos mediante observación directa.

Variables evaluadas y cálculo de biomasa

En cada mata seleccionada se registró el número de cañas, diámetro basal, altura de caña y número de brotes por categorías de altura (<1 m, 1-3 m y >3 m). Para estimar la biomasa aérea se aplicó el método destructivo durante actividades de poda y raleo, siguiendo procedimientos de medición y manejo de muestras empleados para guadua (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2007). La biomasa húmeda aérea se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación (2):

$$B_{aH} = B_{cH} + B_{rH} + B_{hH} \text{.....(2)}$$

Donde BcH, BrH y BhH corresponden a biomasa húmeda del culmo, biomasa húmeda de las ramas y biomasa húmeda de las hojas, respectivamente.

Las muestras fueron secadas en estufa hasta peso constante. El contenido de humedad, la biomasa seca, el carbono almacenado y el CO_2 equivalente se calcularon mediante las siguientes expresiones de las ecuaciones 3, 4, 5 y 6, respectivamente:

$$CH\ (\%) = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \text{.....(3)}$$

$$BS = BH \times \frac{100}{100 + CH} \text{.....(4)}$$

$$C = BS \times 0{,}50 \text{.....(5)}$$

$$CO_2 = C \times 3{,}67 \text{.....(6)}$$

Donde CH es el contenido de humedad; m la masa inicial; m_0 la masa seca; BS la biomasa seca; BH la biomasa húmeda; C el carbono almacenado; y 3,67 el factor estequiométrico de conversión de carbono a dióxido de carbono.

Modelos alométricos y análisis estadístico

Se ajustaron modelos lineales, potenciales, exponenciales y polinómicos de segundo y tercer grado para estimar el CO_2 almacenado a partir del diámetro (D) y de la altura (A), los cuales se expresan en las ecuaciones 7, 8, 9, 10 y 11. De manera general, los modelos evaluados fueron:

$$CO_2 = b_0 + b_1 X \text{.....(7)}$$

$$CO_2 = b_0 X^{b_1} \text{.....(8)}$$

$$CO_2 = b_0 e^{b_1 X} \text{.....(9)}$$

$$CO_2 = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 \text{.....(10)}$$

$$CO_2 = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + b_3 X^3 \text{.....(11)}$$

donde X representó el diámetro (D) o la altura (A); b_0, b_1, b_2 y b_3 fueron los parámetros del modelo; y CO_2 fue el dióxido de carbono estimado. Los modelos se evaluaron mediante el coeficiente de determinación (R^2), la suma de cuadrados del error (SCE) y el error estándar residual (σ). La información fue organizada en Excel 2022 y procesada en InfoStat. Los resultados descriptivos se expresaron mediante media, mediana, moda, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, límites de confianza y error porcentual.

RESULTADOS

Crecimiento dasométrico y brotación

La plantación juvenil presentó un promedio de 6,21 cañas por mata, diámetro basal de 4,11 cm y altura media de 5,75 m. La mayor variabilidad se observó en el número de cañas (CV = 59,12 %), seguida de la altura (CV = 41,81 %) y el diámetro (CV = 40,96 %). El error porcentual fue inferior al 10 % para estas tres variables, lo que respalda la consistencia del tamaño muestral utilizado (Tabla 1).

Tabla 1

Estadísticos descriptivos de número de cañas, diámetro y altura de G. angustifolia.

Estadístico	N.° cañas	Diámetro (cm)	Altura (m)
Media	6,21	4,11	5,75
Mediana	6,00	4,00	6,00
Moda	1,00	2,54	3,00
S^2	13,47	2,83	5,78
S	3,67	1,68	2,40
CV (%)	59,12	40,96	41,81
Ls	6,70	4,33	6,07
Li	5,71	3,88	5,42
E (%)	7,98	5,53	5,64

Nota. S^2 = varianza; S = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; Ls = límite superior; Li = límite inferior; E = error porcentual.

La producción de brotes mostró mayor promedio en la categoría > 3 m, con 2,4 brotes, mientras que las categorías < 1 m y 1-3 m registraron 1,7 y 1,5 brotes, respectivamente. No obstante, las tres categorías presentaron alta variabilidad, con CV superiores al 70 %, lo que evidencia heterogeneidad en la brotación inicial de la plantación (Tabla 2).

Tabla 2

Estadísticos descriptivos del número de brotes de G. angustifolia por categoría de altura.

Estadístico	< 1 m	1-3 m	> 3 m
Media	1,70	1,50	2,40
Mediana	1,00	1,00	2,50

Volumen 8, Número 1, julio - diciembre, 2026 - Recibido: 15-08-2026, Aceptado: 02-09-2026
https://doi.org/10.46908/tayacaja.v8i1.242

Moda	0,00	1,00	3,00
S^2	3,48	2,89	3,09
S	1,87	1,70	1,76
CV (%)	109,80	113,43	73,30
Ls	2,57	2,30	3,22
Li	0,83	0,70	1,58
E (%)	51,31	53,01	34,26

Nota. S^2 = varianza; S = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; Ls = límite superior; Li = límite inferior; E = error porcentual.

Biomasa aérea, carbono y CO_2 secuestrado

El contenido de humedad promedio fue de 46,00 % en cañas y de 40,83 % en ramas y hojas. A nivel individual, la biomasa seca promedio fue de 10,22 kg/caña, equivalente a 5,11 kg de carbono y 18,75 kg de CO_2 por caña. Al extrapolar los resultados a una densidad de 3283 cañas/ha, se estimaron 34,87 t/ha de biomasa aérea, 17,44 t C/ha y 63,99 t CO_2/ha (Tabla 3; Figura 2).

Tabla 3

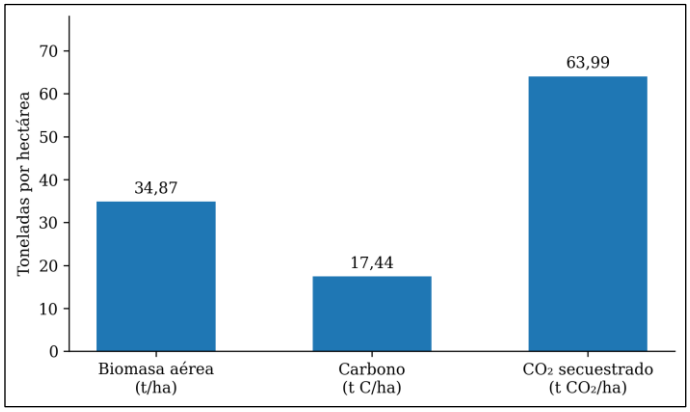
Estadísticos del contenido de humedad, biomasa, carbono y CO_2 por caña.

Estadístico	CH cañas (%)	CH ramas y hojas (%)	Biomasa (kg/caña)	C (kg/caña)	CO_2 (kg/caña)
Media	46,00	40,83	10,22	5,11	18,75
S^2	33,67	30,36	9,76	2,44	32,88
S	5,80	5,51	3,12	1,56	5,73
CV (%)	12,62	13,49	30,58	30,58	30,58
Ls	48,71	43,40	11,68	5,84	21,43
Li	43,28	38,25	8,76	4,38	16,07
E (%)	7,28	8,62	12,21	12,21	12,21

Nota. CH = contenido de humedad; C = carbono; CO_2 = dióxido de carbono; S^2 = varianza; S = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

Figura 2

Biomasa aérea, carbono almacenado y dióxido de carbono secuestrado estimados para la plantación de G. angustifolia.



Desempeño de modelos alométricos

Los modelos basados en diámetro presentaron mayor capacidad de ajuste que los modelos basados únicamente en altura. Para el diámetro, el modelo polinómico de tercer grado alcanzó el mayor R^2 (0,27) y el menor error residual (σ = 4,89). En contraste, los modelos con altura no superaron R^2 = 0,07, lo que indica baja capacidad explicativa cuando esta variable se emplea de manera aislada (Tabla 4; Figura 3).

Tabla 4

Desempeño de modelos alométricos para estimar CO_2 en 20 cañas de G. angustifolia.

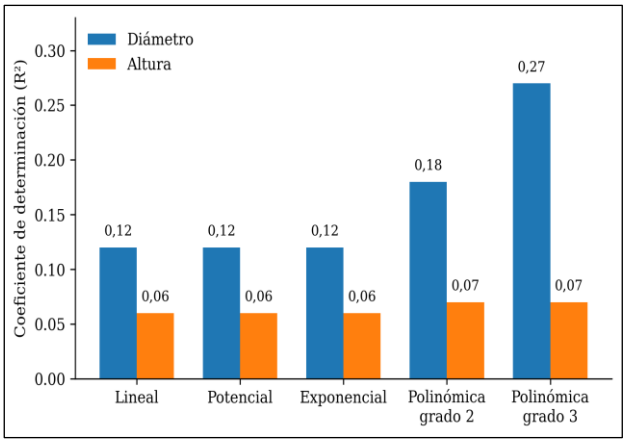
Predictor	Modelo	CO_2 estimado (kg)	R^2	σ
Directo	Método destructivo	374,95	-	-
D	Lineal	374,94	0,12	5,39
D	Potencial	358,63	0,12	5,38
D	Exponencial	357,88	0,12	5,37
D	Polinómica grado 2	342,95	0,18	5,18
D	Polinómica grado 3	324,18	0,27	4,89
A	Lineal	356,89	0,06	5,55
A	Potencial	358,74	0,06	5,55
A	Exponencial	357,78	0,06	5,55
A	Polinómica grado 2	371,12	0,07	5,54
A	Polinómica grado 3	365,04	0,07	5,53

Nota. D = diámetro; A = altura; R^2 = coeficiente de determinación; σ = error estándar residual. El cálculo directo corresponde al valor de referencia obtenido por método destructivo.

Volumen 8, Número 1, julio - diciembre, 2026 - Recibido: 15-08-2026, Aceptado: 02-09-2026
https://doi.org/10.46908/tayacaja.v8i1.242

Figura 3

Comparación del ajuste (R^2) de modelos alométricos basados en diámetro y altura para estimar CO_2 almacenado.



DISCUSIONES

Los valores promedio de diámetro y altura reflejan la condición juvenil de la plantación evaluada y son menores que los reportados en guaduales o plantaciones más desarrolladas. Esta diferencia es esperable, dado que en G. angustifolia la emisión sucesiva de cañas dentro de la mata incrementa progresivamente la dimensión de los culmos y la biomasa acumulada (Molina & Montealegre, 2018; Oblitas, 2022). La alta variabilidad en número de cañas y brotes también es coherente con la heterogeneidad propia de plantaciones jóvenes, donde el establecimiento, la competencia entre matas y la disponibilidad de recursos aún no se estabilizan. En estudios con bambú, el tamaño, la densidad y la estructura del culmo han sido reconocidos como variables esenciales para explicar biomasa y rendimiento, por lo que su registro temprano es clave para el seguimiento silvicultural (Alamerew et al., 2024; Ordóñez-Prado et al., 2023; Sawarkar et al., 2023).

La biomasa aérea estimada de 34,87 t/ha y el carbono almacenado de 17,44 t C/ha evidencian que la plantación ya contribuye a la captura de carbono desde una fase temprana, aunque con valores inferiores a los reportados para bosques o plantaciones maduras. Por ejemplo, Jember et al. (2023) y Abebe et al. (2021) registraron mayores reservas en bambúes africanos de rodales establecidos, mientras que Camargo García et al. (2024) reportaron el papel de los guaduales como reservorios importantes de carbono en sistemas tropicales. De forma similar, Yebeyen et al. (2022) y Burru et al. (2025) mostraron que las reservas aumentan en sistemas de bambú natural u homestead con mayor desarrollo estructural. En consecuencia, la comparación con esos valores debe considerar que el presente estudio evaluó una plantación de solo dos años, por lo que sus resultados representan una línea base inicial y no el potencial máximo de acumulación del sistema.

El mayor desempeño de los modelos basados en diámetro coincide con la evidencia reciente que reconoce esta variable como predictor práctico y de bajo costo para estimar biomasa en bambú. Camargo García et al. (2024) recomendaron modelos con diámetro por su aplicabilidad en inventarios de guadua, mientras que Kaushal et al. (2022), Li et al. (2024) y Tesema et al. (2024) demostraron que las relaciones alométricas con variables dasométricas permiten estimar biomasa en diferentes especies. No obstante, el ajuste obtenido en este estudio fue bajo ($R^2 = 0,27$), por lo que el diámetro explicó solo una parte de la variabilidad del CO2 almacenado. Esta limitación contrasta con estudios recientes que alcanzaron mejores ajustes al incluir variables adicionales, como altura, estructura de la mata, diámetro a la altura del pecho, biomasa por componentes o área basal de la macolla (Kigomo et al., 2025; Ordóñez-Prado et al., 2024; Sumarga et al., 2025).

Los modelos basados únicamente en altura mostraron baja capacidad explicativa ($R^2 <= 0,07$), lo que confirma que el crecimiento vertical no representa por sí solo la acumulación de biomasa en una plantación juvenil. En investigaciones recientes, la combinación de diámetro y altura o el empleo de modelos por componentes ha mejorado la precisión de las estimaciones, especialmente cuando existe un tamaño muestral suficiente y validación independiente (Kaam et al., 2023; Kaam et al., 2024; Tesema et al., 2025). Además, la exclusión de la biomasa subterránea puede subestimar el carbono total, ya que la relación entre biomasa aérea y subterránea en bambú puede variar según especie y sitio (Singnar et al., 2021). Por ello, los modelos del presente estudio deben considerarse aproximaciones preliminares que requieren ampliación del muestreo, incorporación de edades sucesivas de la plantación y validación con nuevos datos destructivos.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados de Tulumayo son relevantes porque proporcionan una primera base local para monitorear el crecimiento temprano de G. angustifolia y estimar su contribución inicial a la captura de carbono. Sin embargo, para orientar proyectos de restauración, manejo forestal o contabilización de carbono, se requiere pasar de estimaciones exploratorias a modelos robustos y verificables. La literatura reciente enfatiza que los esquemas de carbono basados en bambú dependen de metodologías transparentes, inventarios repetibles, modelos validados y, cada vez más, herramientas de monitoreo espacial como sensores remotos (Pan et al., 2023; Pan et al., 2025b; Wang et al., 2021). En futuras investigaciones, el seguimiento de la plantación debería integrar diámetro, altura, edad de culmos, número de cañas por mata, biomasa subterránea, carbono del suelo y análisis de incertidumbre, a fin de mejorar la aplicabilidad silvicultural y climática de los resultados (Hossain, 2025; Prayogo et al., 2021; Tesema et al., 2025).

CONCLUSIONES

La plantación de G. angustifolia de dos años en Tulumayo presentó un crecimiento juvenil caracterizado por 6,21 cañas

Volumen 8, Número 1, julio - diciembre, 2026 - Recibido: 15-08-2026, Aceptado: 02-09-2026
https://doi.org/10.46908/tayacaja.v8i1.242

por mata, diámetro medio de 4,11 cm y altura promedio de 5,75 m. La brotación fue heterogénea, con mayor número promedio de brotes en la categoría superior a 3 m.

La biomasa aérea estimada fue de 34,87 t/ha, equivalente a 17,44 t C/ha y 63,99 t CO_2/ha, lo que evidencia el potencial de la especie para aportar a la captura de carbono desde etapas tempranas de establecimiento.

Los modelos alométricos basados en diámetro presentaron mejor desempeño que los basados en altura, aunque los valores de R^2 fueron bajos. Por ello, se recomienda ampliar el muestreo, realizar monitoreos en diferentes edades de la plantación e incorporar variables adicionales para mejorar la precisión de los modelos de estimación de carbono y CO_2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abebe, S., Minale, A. S., Teketay, D., Jayaraman, D., & Long, T. T. (2021). Biomass, carbon stock and sequestration potential of Oxytenanthera abyssinica forests in Lower Beles River Basin, Northwestern Ethiopia. Carbon Balance and Management, 16, 29. https://doi.org/10.1186/s13021-021-00192-5

Aguirre, M., & Gutiérrez, R. (2009). Potencial de captura de carbono de la Guadua spp. por estadíos en el bosque local "El Maronal de Atumplaya" [Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional.

Alamerew, A. N., Kozak, R., Shrestha, A. K., Zhu, Z., & Wang, G. (2024). A way for livelihood improvement: Systematic review on bamboo forest research. Trees, Forests and People, 16, 100571. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100571

Burru, D. Y., Durai, J., Chinke, M. A., Sileshi, G. W., Rawat, Y. S., Gizachew, B., Reza, S., Desalegne, F. H., & Worassa, K. T. (2025). Allometric models for estimating biomass and carbon stocks in natural and homestead highland bamboo stands in the Sidama Region, Ethiopia. Forests, 16(4), 701. https://doi.org/10.3390/f16040701

Camargo García, J. C., Arango Arango, A. M., & Trinh, L. (2024). The potential of bamboo forests as a carbon sink and allometric equations for estimating their aboveground biomass. Environment, Development and Sustainability, 26, 20159-20187. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03460-1

Chiti, T., Blasi, E., & Chiriacò, M. V. (2024). Carbon sequestration in a bamboo plantation: A case study in a Mediterranean area. Journal of Forestry Research, 35, 51. https://doi.org/10.1007/s11676-024-01696-9

García, D., & Del Castillo, D. (2013). Estimación del almacenamiento de carbono y estructura en bosques con presencia de bambú (Guadua sarcocarpa) de la comunidad nativa Bufeo Pozo, Ucayali, Perú. Folia Amazónica, 22(1-2), 105-113.

Hossain, M. (2025). Validated allometric models for volume, biomass, carbon, and nutrient estimation in forest ecosystems of Bangladesh: A step toward sustainable forest management and climate resilience. Trees, Forests and People, 19, 100772. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100772

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2007). Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth (NTC 5525). ICONTEC.

Jember, A. A., Taye, M. A., Gebeyehu, G., Mulu, G., Long, T. T., Jayaraman, D., & Abebe, S. (2023). Carbon stock potential of highland bamboo plantations in northwestern Ethiopia. Carbon Balance and Management, 18, 3. https://doi.org/10.1186/s13021-023-00224-2

Kaam, R., Tchamba, M., Nfornkah, B. N., & Djomo, C. C. (2023). Allometric equations and carbon stocks assessment for Bambusa vulgaris Schrad. ex J.C.Wendl. in the bimodal rainfall forest of Cameroon. Heliyon, 9(11), e21251. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21251

Kaam, R., Tchamba, M., Nfornkah, B. N., & Djomo, C. C. (2024). Remote sensing, allometry, and carbon stocks of Phyllostachys aurea in the Western Highlands of Cameroon. Advances in Bamboo Science, 6, 100055. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100055

Kaushal, R., Islam, S., Tewari, S., Tomar, J. M. S., Thapliyal, S., Madhu, M., Trinh, T. L., Singh, T., Singh, A., & Durai, J. (2022). An allometric model-based approach for estimating biomass in seven Indian bamboo species in western Himalayan foothills, India. Scientific Reports, 12, 7527. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11394-3

Kigomo, J. N., Mukovi, J., Bor, N., Leshaye, B., Cheruiyot, T., & Kuria, M. (2025). Allometric equations for estimating biomass and carbon stocks of on-farm bamboo species in the agricultural landscapes of Kenya. Advances in Bamboo Science, 11, 100139. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2025.100139

Li, L.-E., Yen, T.-M., & Lin, Y.-J. (2024). A generalized allometric model for predicting aboveground biomass across various bamboo species. Biomass and Bioenergy, 184, 107215. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107215

Molina, D., & Montealegre, W. (2018). Cuantificación de

Volumen 8, Número 1, julio - diciembre, 2026 - Recibido: 15-08-2026, Aceptado: 02-09-2026
https://doi.org/10.46908/tayacaja.v8i1.242

biomasa aérea utilizando medidas dasométricas para la guadua (Guadua angustifolia Kunth) en la cuenca hidrográfica del río Guarapas en el municipio de Pitalito Huila [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

Núñez, A., & Ramírez, M. (2022). Estimación del potencial de captura de carbono en las plantaciones de Guadua angustifolia, Río Negro-Satipo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional.

Oblitas, W. (2022). Ecuaciones alométricas para la estimación de captura de CO2 en plantaciones de Guadua angustifolia Kunth para diámetro y altura, en Aramango, Amazonas, 2020 [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional.

Ordóñez-Prado, C., Nava-Nava, A., Tamarit-Urias, J. C., & Hernández-Zaragoza, P. (2023). Ecuaciones para estimar la altura total de culmos comerciales en tres especies de bambú. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 10(3), e3696. https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3696

Ordóñez-Prado, C., Tamarit-Urias, J. C., Nava-Nava, A., & Rodríguez-Acosta, M. (2024). Additive equations system to estimate aboveground biomass by structural component and total of three giant bamboo species in Mexico. Cerne, 30, e103267. https://doi.org/10.1590/01047760202430013267

Pan, C., Zhou, G., Shrestha, A. K., Chen, J., Kozak, R., Li, N., Li, J., He, Y., Sheng, C., & Wang, G. (2023). Bamboo as a nature-based solution (NbS) for climate change mitigation: Biomass, products, and carbon credits. Climate, 11(9), 175. https://doi.org/10.3390/cli11090175

Pan, C., Wang, G., Xu, L., Li, C., Shrestha, A., Ying, M., Lu, W., Innes, J. L., Kozak, R., & Zhou, G. (2025a). Bamboo forests in Anji, China: An emerging nature-based solution to tackle climate change. Advances in Bamboo Science, 10, 100126. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2025.100126

Pan, C., Shrestha, A., Li, C., Ying, M., Duan, J., He, M., Zhu, W., Chai, Q., Innes, J. L., Kozak, R., Zhou, G., & Wang, G. (2025b). Integrating bamboo forests into the carbon markets: Insights from China. Journal of Environmental Management, 393, 127203. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127203

Pati, P. K., Kaushik, P., Khan, M. L., & Khare, P. K. (2022). Allometric equations for biomass and carbon stock estimation of small diameter woody species from tropical dry deciduous forests: Support to REDD+. Trees, Forests and People, 9, 100289. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100289

Prayogo, C., Muthahar, C., & Ishaq, R. M. (2021). Allometric equation of local bamboo for estimating carbon sequestration of bamboo riparian forest. IOP Conference Series: Earth and Environmental

Science, 905(1), 012002. https://doi.org/10.1088/1755-1315/905/1/012002

Sawarkar, A. D., Shrimankar, D. D., Kumar, M., Kumar, P., & Singh, L. (2023). Bamboos as a cultivated medicinal grass for industries: A systematic review. Industrial Crops and Products, 203, 117210. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117210

Singnar, P., Sileshi, G. W., Nath, A., Nath, A. J., & Das, A. K. (2021). Modelling the scaling of belowground biomass with aboveground biomass in tropical bamboos. Trees, Forests and People, 3, 100054. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100054

Sumarga, E., Choesin, D. N., Eleazar, J., Triagung, O. B., Syamsudin, T. S., Darwis, A., & Hidayat, Y. (2025). Allometric model for estimating above- and belowground biomass of Gigantochloa apus (Schult.f.) Kurz ex Munro. Advances in Bamboo Science, 13, 100208. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2025.100208

Tesema, H. A., Belay, B., & Alemayehu, A. (2024). Development of site-specific allometric equation and predicting aboveground biomass of natural and plantation forests of Oxytenanthera abyssinica (A. Rich.) Munro, Northwestern Ethiopia. Advances in Bamboo Science, 9, 100107. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100107

Tesema, H. A., Durai, J., & Alamerew, A. N. (2025). Bamboo biomass estimation for sustainable forest management and climate mitigation: A comprehensive review of allometric models and emerging technologies. Discover Sustainability, 6, 1315. https://doi.org/10.1007/s43621-025-02001-2

Wang, J., Du, H., Li, X., Mao, F., Zhang, M., Liu, E., Ji, J., & Kang, F. (2021). Remote sensing estimation of bamboo forest aboveground biomass based on geographically weighted regression. Remote Sensing, 13(15), 2962. https://doi.org/10.3390/rs13152962

Yebeyen, D., Nemomissa, S., Sileshi, G. W., Zewdie, W., Hailu, B. T., Rodríguez, R. L., Desalegne, F. H., & Woldie, T. M. (2022). Allometric scaling, biomass accumulation and carbon stocks in natural highland bamboo (Oldeania alpina (K. Schum.) Stapleton) stands in Southwestern Ethiopia. Carbon Management, 13(1), 482-496. https://doi.org/10.1080/17583004.2022.2130090.

Volumen 8, Número 1, julio - diciembre, 2026 - Recibido: 15-08-2026, Aceptado: 02-09-2026
https://doi.org/10.46908/tayacaja.v8i1.242