

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 12, número 3; 2024

Artículo original

*Respuesta fotosintética de *Guadua angustifolia* Kunth y *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. a diferentes intensidades de luz*

*Photosynthetic response of *Guadua angustifolia* Kunth and *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. to different light intensities*

*Resposta fotossintética de *Guadua angustifolia* Kunth e *Bambusa vulgaris* Schrad. ex-J.C. Wendl. em diferentes intensidades de luz*

Diego Ureta-Leones^{1*} , Yasiel Artega-Crespo² , Yudel García-Quintana² ,
Katheryn Arellano-Reinoso¹ 

¹Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

²Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: da.uretal@uea.edu.ec

Recibido: 26/07/2024.

Aprobado: 15/08/2024



RESUMEN

Los estudios de respuesta fotosintética a diversas intensidades lumínicas facilitan comprender la fisiología vegetal, optimizar el manejo y aprovechamiento sostenible de las especies. La investigación tuvo como fin evaluar la respuesta fotosintética de *G. angustifolia* y *B. vulgaris* a diferentes intensidades de luz. Las mediciones de asimilación fotosintética se realizaron utilizando un sistema portátil iFL - LCpro-SD. El punto de compensación (Γ^*) se determinó mediante tres curvas A/Ci bajo tres niveles diferentes de intensidad lumínica. La evaluación de la respuesta fotosintética al incremento en la intensidad de luz fue de 25 a 1800 PPFD $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. *G. angustifolia* presentó un Γ^* de 73.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, indicando mayor eficiencia en la captura de carbono a concentraciones más bajas en comparación con *B. vulgaris*, que mostró un Γ^* de 88.1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Además, *G. angustifolia* exhibió una menor tasa de respiración diurna (R_d) (0.33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo que optimiza su eficiencia energética, mientras que *B. vulgaris* presentó una R_d más alta (1.08 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo que implica mayor consumo de energía en condiciones de baja intensidad lumínica. *G. angustifolia* no mostró fotoinhibición, ya que su tasa de asimilación fotosintética aumentó continuamente con la luz. En contraste, *B. vulgaris* experimentó fotoinhibición a partir de 700 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de PPFD. Estos hallazgos evidencian que *G. angustifolia* está mejor adaptada para capturar carbono en condiciones de baja concentraciones de CO_2 , y altas intensidades de luz, mientras *B. vulgaris* parece adaptarse mejor a ambientes con mayor concentración CO_2 .

Palabras clave: Intercambio de gases, bambú, ecofisiología, ecología

ABSTRACT

Photosynthetic response studies at different light intensities facilitate understanding plant physiology, optimizing management and sustainable use of species. The purpose of the research was to evaluate the photosynthetic response of *G. angustifolia* and *B. vulgaris* at different light intensities. Photosynthetic assimilation measurements were performed using



a portable iFL - LCpro-SD system. The compensation point (Γ^*) was determined by three A/Ci curves under three different light intensity levels. The evaluation of the photosynthetic response to increasing light intensity was from 25 to 1800 PPFD $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. *G. angustifolia* presented a Γ^* of 73.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, indicating higher carbon capture efficiency at lower concentrations compared to *B. vulgaris*, which showed a Γ^* of 88.1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Furthermore, *G. angustifolia* exhibited a lower diurnal respiration rate (R_d) (0.33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, which optimizes its energy efficiency, while *B. vulgaris* presented a higher R_d (1.08 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, implying higher energy consumption under low light intensity conditions. *G. angustifolia* did not show photoinhibition, as its photosynthetic assimilation rate increased continuously with light. In contrast, *B. vulgaris* experienced photoinhibition starting at 700 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ of PPFD. These findings show that *G. angustifolia* is better adapted to capture carbon under conditions of low CO_2 concentrations and high light intensities, while *B. vulgaris* seems to be better adapted to environments with higher CO_2 concentrations.

Keywords: gas exchange, bamboo, ecophysiology, ecology.

RESUMO

Estudos da resposta fotossintética a diversas intensidades luminosas facilitam o entendimento da fisiologia vegetal, otimizam o manejo e o uso sustentável das espécies. O objetivo da pesquisa foi avaliar a resposta fotossintética de *G. angustifolia* e *B. vulgaris* a diferentes intensidades luminosas. As medidas de assimilação fotossintética foram realizadas utilizando um sistema portátil iFL - LCpro-SD. O ponto de compensação (Γ^*) foi determinado usando três curvas A/Ci sob três níveis diferentes de intensidade de luz. A avaliação da resposta fotossintética ao aumento da intensidade luminosa foi de 25 a 1800 PPFD $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. *G. angustifolia* apresentou Γ^* de 73,9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, indicando maior eficiência na captura de carbono em concentrações mais baixas em comparação com *B. vulgaris*, que apresentou Γ^* de 88,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Além disso, *G. angustifolia* exibiu menor taxa de respiração diurna (R_d) (0,33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, o que otimiza sua eficiência energética,



enquanto *B. vulgaris* apresentou maior R_a ($1,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, o que implica maior consumo de energia em condições de baixa intensidade luminosa. *G. angustifolia* não apresentou fotoinibição, pois sua taxa de assimilação fotossintética aumentou continuamente com a luz. Em contraste, *B. vulgaris* experimentou fotoinibição de $700 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD. Essas descobertas mostram que *G. angustifolia* está melhor adaptada para capturar carbono em condições de baixas concentrações de CO_2 e altas intensidades luminosas, enquanto *B. vulgaris* parece se adaptar melhor a ambientes com maiores concentrações de CO_2 .

Palavras-chave: trocas gasosas, bambu, ecofisiologia, ecologia.

INTRODUCCIÓN

La fotosíntesis es un proceso biológico esencial para la vida de las plantas y desempeña un papel crucial en la evolución y el equilibrio de los ecosistemas (Yang *et al.*, 2018). A través de este proceso fisiológico las plantas, algas y ciertos grupos de bacterias transforman la energía luminosa en energía química, la cual es almacenada en forma de carbohidratos, principalmente como glucosa (Liu y van Iersel 2021; Xu *et al.*, 2024; Zhang y Ye 2021). Este proceso no solo es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, sino que también desempeña un rol fundamental en la regulación del ciclo global del carbono, al contribuir significativamente a la absorción del dióxido de carbono atmosférico (Stojanoviæ *et al.*, 2024; Kulsirilak *et al.*, 2024).

La eficiencia de la fotosíntesis está influenciada por diversos factores ambientales, en el que se destaca la intensidad de la luz uno de los más determinantes (Su, Jin y Wei 2024; Daryaei, Sohrabi y Puerta-Piñero 2019) Entender cómo las plantas responden a distintos niveles de iluminación es fundamental para optimizar prácticas agrícolas y de manejo forestal, especialmente en especies de alta relevancia económica y ecológica como lo son *G. angustifolia* y *B. vulgaris*.



En este contexto, ambas especies de bambú han despertado un gran interés en la comunidad científica, debido a su potencial para contribuir a la sostenibilidad ambiental, restauración de suelos degradados y generación de recursos renovables (Díaz, González-Martínez y Pérez 2021; Asante *et al.*, 2024). Estas plantas son conocidas por su rápido crecimiento, su capacidad de almacenamiento de carbono, y su amplia gama de aplicaciones, que van desde la construcción sostenible hasta la producción de papel y biocombustibles (Aguirre-Cadena *et al.*, 2018; Sapuyes *et al.*, 2018; Orozco Gutiérrez y Cesar de Lira Fuentes 2020). Además, *G. angustifolia* juega un papel importante en la conservación del suelo y la gestión del agua en las regiones donde se cultiva (Piedrahíta *et al.*, 2019).

Los estudios de respuesta fotosintética a diferentes intensidades de luz no solo contribuyen a un mejor entendimiento de la fisiología de las plantas, sino que también ofrece información valiosa para su manejo y aprovechamiento sostenible (Daryaei, Sohrabi y Puerta-Piñero 2019; Su, Jin y Wei 2024). Cao *et al.* (2024) señalaron que el estrés por sequía disminuye la fotosíntesis en *Phyllostachys edulis*, limitando su capacidad para aprovechar eficientemente la luz intensa. En este sentido, este trabajo tiene como objetivo evaluar la respuesta fotosintética de *G. angustifolia* y *B. vulgaris* a diferentes intensidades de luz, proporcionando una base científica para entender las prácticas de cultivo y maximizar los beneficios ecológicos y económicos de estas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica - CEIPA de la Universidad Estatal Amazónica, ubicado en Arosemena de Tola, provincia de Napo, Ecuador (Figura 1). El centro cuenta con una superficie de 2.848 hectáreas, de las cuales al menos 2.000 son de bosque nativo. La región se caracteriza por un clima cálido y húmedo, con una temperatura media anual que oscila entre 24°C y 25°C. La



precipitación anual promedio alcanza los 4.000 mm. La altitud varía entre los 580 y 990 metros sobre el nivel del mar y la humedad relativa es del 80 %.

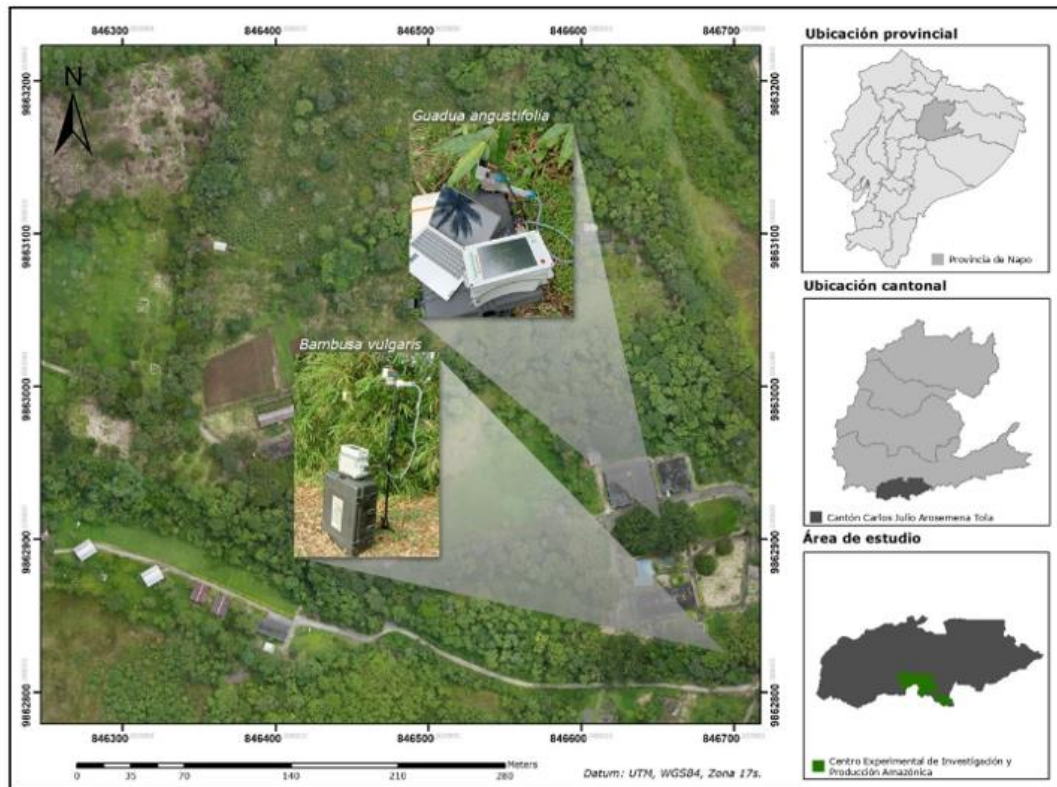


Figura 1. - Área de estudio

Mediciones de parámetros fotosintético

Las mediciones de asimilación fotosintética de *G. Angustifolia* y *B. vulgaris* se realizaron utilizando un sistema portátil integrado de medición de la fotosíntesis y la fluorescencia de la clorofila (iFL - LCpro-SD) con control de microclima totalmente programable, desarrollado por Opti-Sciences Inc. y ADC BioScientific Ltd. (Reino Unido). Este sistema está equipado con una fuente de luz blanca actínica de alta intensidad, con un espectro predominante en el azul, lo que facilita la migración de cloroplastos de manera comparable a las condiciones naturales. El iFL alcanza una emisión máxima de luz de $2.000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Además, cuenta con un sistema integrado para medir la absorción foliar, utilizando un



sensor RGB (rojo, verde y azul, por sus siglas en inglés) para evaluar la reflectancia y transmitancia de la hoja. También incluye un sensor de temperatura por infrarrojos (IR), que abarca aproximadamente el 80% del área de la cámara, registrando las siguientes variables fotosintéticas (Tabla1).

Tabla 1. - Definiciones de las abreviaturas de los parámetros fotosintéticos

Abreviatura	Definición	Unidades
PPFD	Densidad de flujo de fotones fotosintético	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
A	Asimilación fotosintética	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
A_{max}	Asimilación fotosintética máxima	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
C_i	Concentración de CO_2 intracelular	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
C_c	Concentración de CO_2 en los cloroplastos	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
E	Tasa de transpiración	$\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Gs	Conductancia estomática	$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Γ^*	Punto de compensación de CO_2	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
R_d	Respiración diurna	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
ETR	Tasa de transporte de electrones	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
ETR_{max}	Tasa de transporte de electrones máxima	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

Determinación del punto de compensación (Γ^)*

Las mediciones para la determinación del Γ^* se realizaron siguiendo la metodología descrita por Laisk (1977), con algunas adecuaciones introducidas por los autores (ver Tabla 2). El experimento consistió en generar tres curvas A/ C_i bajo tres niveles diferentes de intensidad lumínica. En cada nivel se aumentó progresivamente la concentración de CO_2 , manteniendo la temperatura y la humedad en condiciones ambientales. El Γ^* se define como la intensidad lumínica mínima en la que la tasa de fotosíntesis de una planta iguala a



la tasa de respiración. En este punto, la cantidad de oxígeno producida por la fotosíntesis es equivalente a la cantidad de oxígeno consumida por la respiración, y de manera similar, la cantidad de CO₂ absorbida durante la fotosíntesis es igual a la cantidad liberada en la respiración (Schmiege *et al.*, 2023).

Tabla 2. - Características del protocolo Laisk

N°	Tiempo (min)	Intensidad lumínica ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Concentración CO ₂ ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Humedad (%)	Temperatura (°C)
1	4	200	115	Ambiental	Ambiental
2	2	200	160	Ambiental	Ambiental
3	2	200	205	Ambiental	Ambiental
4	2	200	250	Ambiental	Ambiental
5	4	400	115	Ambiental	Ambiental
6	2	400	160	Ambiental	Ambiental
7	2	400	205	Ambiental	Ambiental
8	2	400	250	Ambiental	Ambiental
9	4	600	115	Ambiental	Ambiental
10	2	600	160	Ambiental	Ambiental
11	2	600	205	Ambiental	Ambiental
12	2	600	250	Ambiental	Ambiental

Respuesta fotosintética al incremento de la intensidad de luz

La toma de datos de fotosíntesis en respuesta a diferentes intensidades de luz se siguió la metodología propuesta por Ávila-Lovera & Tezara, (2018); Cao *et al.*, (2024) y Zhang *et al.*, (2023) con adecuaciones en la PPFd propuesta por los autores. Se midieron hojas sanas, sin malformaciones o daños por insectos de *G. angustifolia* y *B. vulgaris*. Se realizó 5 réplicas en horas de la mañana entre las 8h00 a 11h00 durante diez días completamente despejados, la temperatura se estableció en 30 °C, la humedad relativa 80% y la concentración atmosférica de CO₂ a 450 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. El incremento en la intensidad de luz fue de 25 a 1800 PPFd μmol



$\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La secuencia en el incremento de luz se programó en 12 pasos (25, 50, 100, 150, 250, 450, 600, 750, 1000, 1250, 1500 y 1800 PPFD $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) con la duración de cuatro minutos por cada toma de datos con una duración total del experimento de 48 minutos por cada replica.

Procesamiento y análisis de datos

Se analizaron los datos de las curvas de respuesta fotosintética a distintas intensidades lumínicas de *G. angustifolia* y *B. vulgaris* utilizando estadísticos descriptivos. Adicional, se realizó un ajuste mediante el modelo de Hipérbola Rectangular, implementado en el software SigmaPlot 15.0 (Kieffer et al. 2024). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas de los parámetros fotosintéticos A_{max} , E , G_s , C_i , C_c y ETR_{max} entre las especies en estudio con el uso del software OriginLab 2024.

RESULTADOS

Determinación del Punto de Compensación (Γ^)*

En las Figuras 2a y 2b se evidenció diferencias importantes en el Γ^* y R_d de *G. angustifolia* y *B. vulgaris*. La primera especie mostró un Γ^* de 73.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo que sugiere una mayor eficiencia en la captura de CO_2 , a concentraciones más bajas en comparación con *B. vulgaris*, cuyo Γ^* de 88.1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ indica que requiere concentraciones más altas de CO_2 para equilibrar sus tasas de fotosíntesis y respiración. En cuanto a la R_d , *G. angustifolia* exhibió un valor de 0.33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo que indica una menor liberación de CO_2 en ausencia de luz y una mayor eficiencia energética. En contraste, *B. vulgaris* mostró una R_d más elevada 1.08 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo que implica un mayor consumo energético en condiciones de baja luz, potencialmente limitando su eficiencia en entornos con luz reducida.



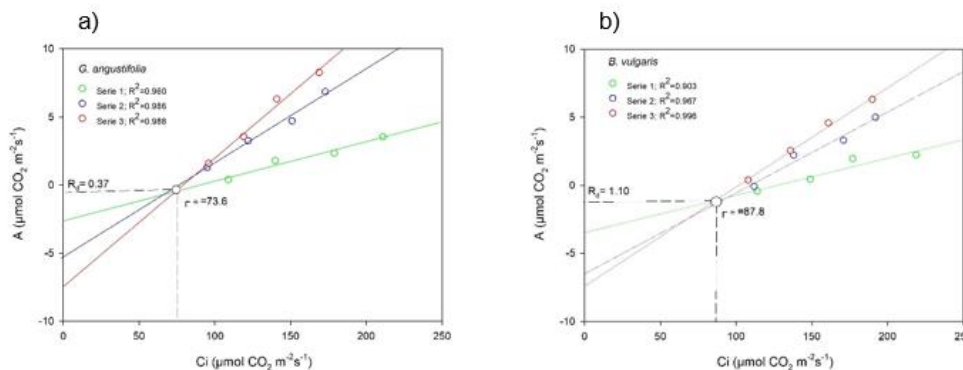


Figura 2. - Punto de compensación de las especies en estudio; *G. angustifolia* (a); *B. vulgaris*(b).

Leyenda: Asimilación fotosintética (A); Concentración de CO₂ intracelular (Ci); Punto de compensación de CO₂ (Γ *); Respiración diurna (R_d).

Respuesta fotosintética al incremento de la intensidad de luz

En la Figura 3a y 3b, se presentan las curvas de asimilación fotosintética en respuesta a la luz. En condiciones de baja intensidad lumínica (PPFD: 25, 50, 100, 150 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹), no se evidenció diferencias significativas (P>0.05). Sin embargo, a partir de 250 μmol m⁻²s⁻¹ de PPFD, se observaron diferencias significativas entre ambas especies. *G. angustifolia* no mostró fotoinhibición, ya que la tasa de asimilación continuó aumentando con la luz. Por el contrario, *B. vulgaris* experimentó fotoinhibición a partir de 700 μmol m⁻²s⁻¹ de PPFD, con una tasa máxima de asimilación de 12.84 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹. Estos resultados ponen en evidencia la mayor tolerancia de *G. angustifolia* a intensidades lumínicas elevadas, en comparación con *B. vulgaris*, cuya fotosíntesis se ve limitada por la fotoinhibición a altas intensidades de luz.

En la figura 3c y 3d, se muestra la tasa de transporte de electrones (ETR) en respuesta a diferentes intensidades de luz, lo que permitió evaluar la eficiencia del transporte de electrones en los cloroplastos, esencial para la generación de energía durante la fase luminosa del proceso fotosintético, donde *G. angustifolia* presentó un ETR superior evidenciando diferencias significativas (P<0.05) a partir de los 1000 μmol m⁻²s⁻¹ de PPFD con



un ETR de $173.9 \pm 8.81 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mientras que *B. vulgaris* mostró un ETR de $129.13 \pm 4.08 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

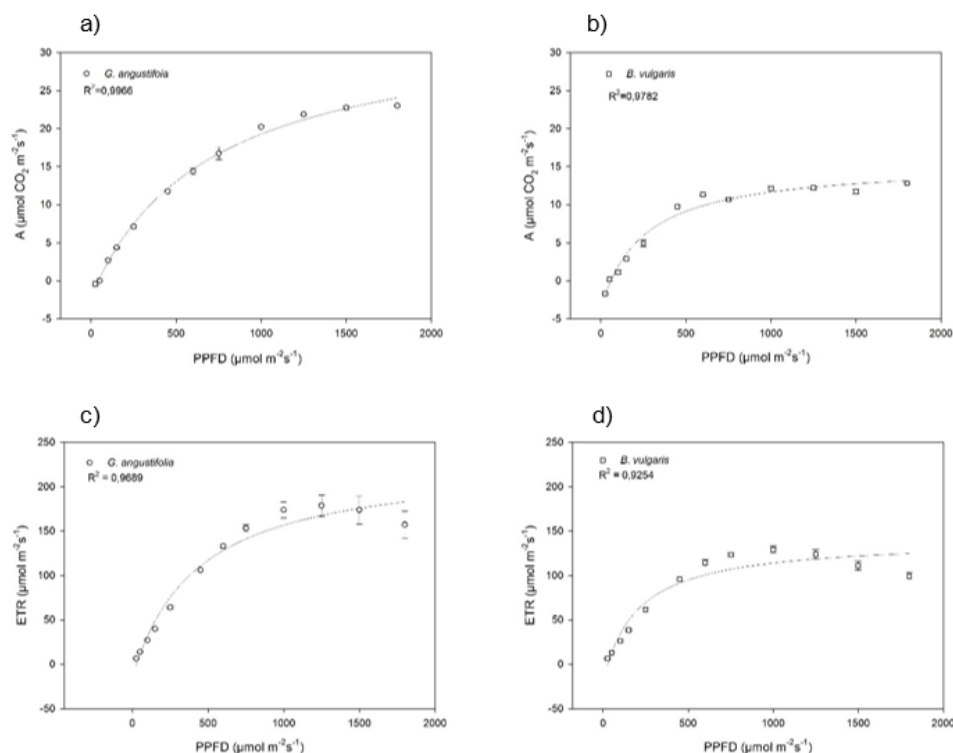


Figura 3. - Curvas de respuesta de la asimilación fotosintética y del transporte de electrones bajo distintas intensidades lumínicas; *G. angustifolia* (a y c); *B. vulgaris* (b y d).

Leyenda: Asimilación fotosintética (A); Tasa de transporte de electrones (ETR); densidad de Flujo de fotones fotosintéticos (PPFD).

G. angustifolia alcanzó una asimilación fotosintética máxima (A_{max}) de $23.06 \pm 0.11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, significativamente mayor en comparación con *B. vulgaris*, que presentó una A_{max} de $12.84 \pm 0.06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($P < 0.05$). Esto sugiere una mayor eficiencia fotosintética en *G. angustifolia*, posiblemente debido a su mejor adaptación a condiciones lumínicas más intensas o su mayor capacidad para aprovechar la energía solar disponible. En cuanto a la conductancia estomática (G_s), que mide la eficiencia de los estomas en el intercambio de gases, *G. angustifolia* también mostró un valor significativamente superior ($G_s = 0.26 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $P < 0.05$) frente a *B. vulgaris* ($G_s = 0.13 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Esta mayor conductancia



estomática sugiere que *G. angustifolia* es más eficiente en la regulación de la apertura estomática, lo que le permite optimizar tanto la entrada de CO₂ como la regulación de la pérdida de agua a través de la transpiración (Tabla 2).

En relación con el rendimiento del transporte electrones máximo (ETR_{max}), *G. angustifolia* alcanzó su ETR_{max} a una irradiancia de 1250 μmol m⁻²s⁻¹ de PPFd, mientras que *B. vulgaris* lo alcanzó a 1000 μmol m⁻²s⁻¹ de PPFd. Esto indica que *G. angustifolia* puede manejar intensidades lumínicas elevadas sin experimentar fotoinhibición, en tanto que *B. vulgaris* parece alcanzar su límite antes, lo que podría explicar su menor tasa fotosintética en condiciones de alta irradiancia. En contraste, otros parámetros como la tasa de transpiración (E), la concentración de CO₂ intracelular (C_i) y la concentración de CO₂ en los cloroplastos (C_c) no mostraron diferencias significativas entre las dos especies, lo que sugiere que las diferencias observadas en la fotosíntesis pueden estar más relacionadas con la capacidad de manejo de la luz y la eficiencia del uso de CO₂ que, con el control de la transpiración o la acumulación de CO₂ dentro de los tejidos fotosintéticos (Tabla 3).

Estos resultados demuestran la capacidad de *G. angustifolia* para prosperar en ambientes con alta irradiancia, lo que podría ser clave para su éxito en condiciones de alta intensidad lumínica, donde la fotosíntesis eficiente y la regulación estomática juegan un papel crucial en su productividad.

Tabla 3. - Parámetros fotosintéticos de las especies en estudio

Parámetros	<i>G. angustifolia</i>	<i>B. vulgaris</i>
A _{max} (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	23.06 ^a ± 0.11	12.84 ^b ± 0.06
E (mmol m ⁻² s ⁻¹)	2.12 ^a ± 0.15	2.22 ^a ± 0.15
G _s (mol m ⁻² s ⁻¹)	0.26 ^a ± 0.02	0.13 ^b ± 0.01
C _i (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	328 ^a ± 11	315 ^a ± 11
C _c (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	238 ^a ± 14	254 ^a ± 16
ETR _{max}	178.63 ^a ± 11.88	129.13 ^b ± 4.08



Leyenda: Asimilación máxima (A_{max}); Tasa transpiración (E); Conductancia estomática (G_s); Concentración de CO_2 intracelular (C_i); Concentración de CO_2 en los cloroplastos (C_c); Tasa de transporte de electrones (ETR).

DISCUSIÓN

Determinar el punto de compensación de CO_2 es crucial para comprender la fisiología de las plantas, ya que representa el equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración (Schmiege *et al.*, 2023). En este punto, la absorción de CO_2 durante la fotosíntesis iguala la cantidad de CO_2 liberada en la respiración, lo que refleja la eficiencia del uso de luz y carbono por la planta (Cao *et al.* 2024). Conocer este umbral permite optimizar las condiciones de crecimiento y predecir la respuesta de las plantas ante factores ambientales como la intensidad lumínica y las concentraciones de CO_2 .

Estudios previos han investigado el Γ^* y la R_d en diversas especies, destacando su importancia en la adaptación a diferentes niveles de luz y disponibilidad de CO_2 , (Ye *et al.* 2013; Shao *et al.*, 2009; Coccozza *et al.*, 2016) Otras investigaciones han reportado que especies adaptadas a ambientes sombreados presentan puntos de compensación más bajos y tasas de respiración menores, lo que optimiza la eficiencia energética en estas condiciones (Bögelein *et al.*, 2012; Ghashghaie *et al.*, 2003). Las especies, al estar en condiciones de luz adversas, experimentan un desarrollo limitado debido a la reducción de la capacidad fotosintética. La falta de luz adecuada disminuye la tasa de asimilación de CO_2 implicando una menor producción de energía y una mayor dependencia de la respiración, lo que puede comprometer el crecimiento y la supervivencia de las plantas en ambientes con baja disponibilidad de luz.

La comparación entre *G. angustifolia* y *B. vulgaris* en términos de la respuesta fotosintética bajo diferentes intensidades de luz revela diferencias significativas en su adaptación a condiciones lumínicas elevadas. En este estudio, *G. angustifolia* no mostró fotoinhibición incluso a altos niveles de PPFD, manteniendo un aumento continuo en la tasa de asimilación



fotosintética. Por el contrario, *B. vulgaris* experimentó fotoinhibición a partir de $700 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de PPFD, lo que limitó su asimilación fotosintética máxima a $12.84 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Estos resultados son consistentes con estudios previos que señalan la fotoinhibición como un fenómeno común en plantas expuestas a intensidades lumínicas elevadas, donde la capacidad fotosintética se ve superada por el exceso de energía lumínica, lo que afecta negativamente la fotosíntesis (Genty, Briantais y Baker 1989; Azcón Bieto et al. 2008). En *B. vulgaris*, la fotoinhibición podría estar relacionada con una menor capacidad de disipar el exceso de luz en forma de calor o de otras formas de energía no fotoquímica. Por otro lado, la resistencia de *G. angustifolia* a la fotoinhibición podría deberse a mecanismos más eficientes de regulación del exceso de luz, como la fotoprotección no fotoquímica (NPQ) o una mayor capacidad para el transporte de electrones (Demmig-Adams y Adams 1992; Cocozza et al., 2016)

Estudios sobre otras especies de bambúes también han documentado una variación significativa en las respuestas fotosintéticas ante diferentes intensidades de luz, lo que refleja una adaptación diferencial según los ambientes de crecimiento. Por ejemplo, *Phyllostachys edulis* mostró una disminución en la tasa fotosintética cuando se expuso a altos niveles de luz, lo cual sugiere una menor tolerancia a la fotoinhibición en comparación con especies como *G. angustifolia* (Cao et al., 2024). Esta capacidad de *G. angustifolia* para mantener altas tasas de fotosíntesis bajo condiciones de alta irradiancia la hace más adecuada para su uso en ambientes abiertos o expuestos, donde la luz es un recurso abundante.

En términos fisiológicos, la mayor tolerancia de *G. angustifolia* a la alta irradiancia puede explicarse por una mayor eficiencia en el uso de la luz, un ajuste estomático eficiente, y una mayor capacidad de transporte de electrones, lo que le permite evitar el daño fotooxidativo que normalmente ocurre en condiciones de exceso de luz (Ralph y Gademann 2005). Estas características la hacen más eficiente en la captura de carbono y, por lo tanto, mejor adaptada a condiciones de alta luz en comparación con *B. vulgaris*.



CONCLUSIONES

La determinación del punto de compensación de CO₂ y la respuesta fotosintética de *G. angustifolia* y *B. vulgaris* bajo diferentes intensidades lumínicas reveló diferencias fisiológicas clave entre estas dos especies. *G. angustifolia* mostró un punto de compensación de CO₂ más bajo (73.9 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹) en comparación con *B. vulgaris* (88.1 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹), lo que sugiere que la primera es más eficiente en la asimilación de carbono a bajas concentraciones de CO₂. Además, *G. angustifolia* demostró mayor tolerancia a la luz alta, sin signos de fotoinhibición, mientras que *B. vulgaris* experimentó fotoinhibición a 700 μmol m⁻²s⁻¹ de PPFD, reduciendo su eficiencia fotosintética en condiciones de alta radiación.

La tasa de asimilación fotosintética máxima (A_{\max}) también fue superior en *G. angustifolia* (23.06 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹), lo que indica su mayor capacidad de capturar carbono, mientras que *B. vulgaris* alcanzó un A_{\max} de 12.84 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹. Estas diferencias en la fotosíntesis reflejan adaptaciones específicas de cada especie a su entorno. Por lo tanto, estos hallazgos evidencian que *G. angustifolia* está mejor adaptada para capturar carbono en condiciones de bajo CO₂ y altas intensidades de luz, mientras que *B. vulgaris*, aunque requiere más energía para mantener sus funciones respiratorias, podría estar mejor adaptada a ambientes con mayores concentraciones de CO₂.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE-CADENA, J.F., RAMÍREZ-VALVERDE, B., CADENA-IÑIGUEZ, J., JUÁREZ-SÁNCHEZ, J.P., CASO-BARRERA, L., MARTÍNEZ-CARRERA, D., AGUIRRE-CADENA, J.F., RAMÍREZ-VALVERDE, B., CADENA-IÑIGUEZ, J., JUÁREZ-SÁNCHEZ, J.P., CASO-BARRERA, L. y MARTÍNEZ-CARRERA, D., 2018. Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista de Biología Tropical* [en línea], vol. 66, no. 4, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 0034-7744. DOI 10.15517/RBT.V66I4.33364.



Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442018000401701&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

ASANTE, K.O.H., AKOTO, D.S., DERKYI, N.S.A. y ABUGRE, S., 2024. Advancing circular economy for the growth, root development and elemental characteristics of bamboo (*Bambusa vulgaris*) on galamsey-degraded soil. *Advances in Bamboo Science*, vol. 6, ISSN 2773-1391. DOI 10.1016/J.BAMBOO.2023.100054.

ÁVILA-LOVERA, E. y TEZARA, W., 2018. Water-use efficiency is higher in green stems than in leaves of a tropical tree species. *Trees - Structure and Function* [en línea], vol. 32, no. 6, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 09311890. DOI 10.1007/S00468-018-1732-X/TABLES/3. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-018-1732-x>.

AZCÓN BIETO, J., FLECK BOU, I., ARANDA, X. y GÓMEZ CASANOVAS, N., 2008. Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. *Fundamentos de fisiología vegetal*, 2008, ISBN 978-84-481-5168-3, págs. 247-263 [en línea], vol. Primera edición, [consulta: 22 septiembre 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6380399>.

BÖGELEIN, R., HASSDENTEUFEL, M., THOMAS, F.M. y WERNER, W., 2012. Comparison of leaf gas exchange and stable isotope signature of water-soluble compounds along canopy gradients of co-occurring Douglas-fir and European beech. *Plant, Cell & Environment* [en línea], vol. 35, no. 7, [consulta: 22 septiembre 2024]. ISSN 1365-3040. DOI 10.1111/J.1365-3040.2012.02486.X. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3040.2012.02486.x>.

CAO, Y., LI, J., LI, S. y ZHOU, B., 2024. The Effects of Long-Term Precipitation Exclusion on Leaf Photosynthetic Traits, Stomatal Conductance, and Water Use Efficiency in *Phyllostachys edulis*. *Forests* 2024, Vol. 15, Page 849 [en línea], vol. 15, no. 5, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 1999-4907. DOI 10.3390/F15050849. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/5/849/htm>.



COCOZZA, C., DE MIGUEL, M., PŠIDOVÁ, E., DITMAROVÁ, L., MARINO, S., MAIURO, L., ALVINO, A., CZAJKOWSKI, T., BOLTE, A. y TOGNETTI, R., 2016. Variation in ecophysiological traits and drought tolerance of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings from different populations. *Frontiers in Plant Science*, vol. 7, ISSN 1664462X. DOI 10.3389/FPLS.2016.00886/FULL.

DARYAEI, A., SOHRABI, H. y PUERTA-PIÑERO, C., 2019. How does light availability affect the aboveground biomass allocation and leaf morphology of saplings in temperate mixed deciduous forests? *New Forests* [en línea], vol. 50, no. 3, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 15735095. DOI 10.1007/S11056-018-9666-0/TABLES/4. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-018-9666-0>.

DEMMIG-ADAMS, B. y ADAMS, W.W., 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 43, no. 1, ISSN 10402519. DOI 10.1146/ANNUREV.PP.43.060192.003123/CITE/REFWORKS.

DÍAZ, R.G., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. y PÉREZ, C., 2021. La guadua (*Guadua angustifolia*) Kunth: El oro verde por descubrir. [en línea], [consulta: 31 agosto 2024]. Disponible en: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/13238>.

GENTY, B., BRIANTAIS, J.M. y BAKER, N.R., 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, vol. 990, no. 1, ISSN 0304-4165. DOI 10.1016/S0304-4165(89)80016-9.

GHASHGHAIE, J., BADECK, F.W., LANIGAN, G., NOGUÉS, S., TCHERKEZ, G., DELÉENS, E., CORNIC, G. y GRIFFITHS, H., 2003. Carbon isotope fractionation during dark respiration and photorespiration in C3 plants. *Phytochemistry Reviews* [en línea], vol. 2, no. 1-2, [consulta: 22 septiembre 2024]. ISSN 15687767. DOI 10.1023/B:PHYT.0000004326.00711.CA/METRICS. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:PHYT.0000004326.00711.ca>.



KIEFFER, C., KAUR, N., LI, J., MATAMALA, R., FAY, P.A. y HUI, D., 2024. Photosynthetic responses of switchgrass to light and CO₂ under different precipitation treatments. *GCB Bioenergy* [en línea], vol. 16, no. 8, [consulta: 14 septiembre 2024]. ISSN 1757-1707. DOI 10.1111/GCBB.13138. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.13138>.

KULSIRILAK, N., AMPORNPITAK, R., KASIKAM, N. y TOR-NGERN, P., 2024. Investigating leaf gas exchanges of common trees in two urban parks with different periods of establishment in Bangkok, Thailand. *Tropical Ecology* [en línea], vol. 65, no. 2, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 26618982. DOI 10.1007/S42965-024-00343-Y/METRICS. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42965-024-00343-y>.

LAISK, A.K., 1977. Kinetics of photosynthesis and photorespiration of C₃ in plants.

LIU, J. y VAN IERSEL, M.W., 2021. Photosynthetic Physiology of Blue, Green, and Red Light: Light Intensity Effects and Underlying Mechanisms. *Frontiers in Plant Science* [en línea], vol. 12, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 1664462X. DOI 10.3389/FPLS.2021.619987/BIBTEX. Disponible en: www.frontiersin.org.

OROZCO GUTIÉRREZ, G. y CESAR DE LIRA FUENTES, R., 2020. Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos proveniente de las podas de bambú (*Guadua angustifolia*). *revistaremaeitvo.mx* [en línea], vol. 7, no. 1, [consulta: 31 agosto 2024]. Disponible en: <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/download/41/34>.

PIEDRAHÍTA, D., VÁSQUEZ, V., ... L.T.-J. of S. y 2019, undefined, 2019. Evaluación y planificación de sistemas agroforestales sustentables de cacao (*Theobroma cacao* L.) y bambú (*Guadua angustifolia* K.), Montalvo, Ecuador. *dialnet.unirioja.es* [en línea], vol. 4, [consulta: 31 agosto 2024]. DOI 10.5281/zenodo.3473533. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7368042>.



RALPH, P.J. y GADEMANN, R., 2005. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity. *Aquatic Botany*, vol. 82, no. 3, ISSN 0304-3770. DOI 10.1016/J.AQUABOT.2005.02.006.

SAPUYES, E., OSORIO, J., TAKEUCHI, C., DUARTE, M. y ERAZO, W., 2018. Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua angustifolia Kunth de Pitalito, Huila. *Revista de Investigación [en línea]*, vol. 11, no. 1, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 2590-6062. DOI 10.29097/2011-639X.182. Disponible en: <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/182>.

SCHMIEGE, S.C., SHARKEY, T.D., WALKER, B., HAMMER, J. y WAY, D.A., 2023. Laisk measurements in the nonsteady state: Tests in plants exposed to warming and variable CO₂ concentrations. *Plant Physiology [en línea]*, vol. 193, no. 2, [consulta: 3 septiembre 2024]. ISSN 0032-0889. DOI 10.1093/PLPHYS/KIAD305. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1093/plphys/kiad305>.

SHAO, H.B., CHU, L.Y., JALEEL, C.A., MANIVANNAN, P., PANNEERSELVAM, R. y SHAO, M.A., 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 29, no. 2, ISSN 07388551. DOI 10.1080/07388550902869792.

STOJANOVIÆ, M., JOCHER, G., KOWALSKA, N., SZATNIEWSKA, J., ZAVADILOVÁ, I., URBAN, O., ÈÁSLAVSKÝ, J., HORÁÈEK, P., ACOSTA, M., PAVELKA, M. y MARSHALL, J.D., 2024. Disaggregation of canopy photosynthesis among tree species in a mixed broadleaf forest. *Tree Physiology [en línea]*, vol. 44, no. 7, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 17584469. DOI 10.1093/TREEPHYS/TPAE064. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpae064>.



SU, S., JIN, N. y WEI, X., 2024. Effects of thinning on the understory light environment of different stands and the photosynthetic performance and growth of the reforestation species *Phoebe bournei*. *Journal of Forestry Research* [en línea], vol. 35, no. 1, [consulta: 31 agosto 2024]. ISSN 19930607. DOI 10.1007/S11676-023-01651-0/FIGURES/7. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-023-01651-0>.

XU, Y., DU, H., MAO, F., LI, X., ZHOU, G., HUANG, Z., GUO, K., ZHANG, M., LUO, X., CHEN, C. y ZHAO, Y., 2024. Effects of chlorophyll fluorescence on environment and gross primary productivity of moso bamboo during the leaf-expansion stage. *Journal of Environmental Management*, vol. 360, ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2024.121185.

YANG, X., XU, H., SHAO, L., LI, T., WANG, Y. y WANG, R., 2018. Response of photosynthetic capacity of tomato leaves to different LED light wavelength. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 150, ISSN 0098-8472. DOI 10.1016/J.ENVEXPBOT.2018.03.013.

YE, Z., SUGGETT, D., ROBAKOWSKI, P., PHYTOLOGIST, H.K.-N. y 2013, undefined, 2013. A mechanistic model for the photosynthesis light response based on the photosynthetic electron transport of photosystem II in C3 and C4 species. *Wiley Online Library* ZP Ye, DJ Suggett, P Robakowski, HJ Kang *New Phytologist*, 2013 • *Wiley Online Library* [en línea], vol. 199, no. 1, [consulta: 22 septiembre 2024]. DOI 10.1111/nph.12242. Disponible en: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/nph.12242>.

ZHANG, X., TONG, C., FANG, D., MEI, T. y LI, Y., 2023. Different hydraulic and photosynthetic responses to summer drought between newly sprouted and established Moso bamboo culms. *Frontiers in Plant Science*, vol. 14, ISSN 1664462X. DOI 10.3389/FPLS.2023.1252862/BIBTEX.



ZHANG, Y. y YE, A., 2021. Would the obtainable gross primary productivity (GPP) products stand up? A critical assessment of 45 global GPP products. Science of The Total Environment, vol. 783, ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2021.146965.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

