

Influencia del espaciamiento en el desarrollo de *Ochroma pyramidale* en la Amazonía boliviana

Influence of spacing on *Ochroma pyramidale* development in Bolivian Amazon

Armelinda ZONTA^{1*}, Ademir HURTADO-LAIRANA¹, Edward FLORES-VILLANUEVA^{2†}, Mario RODRÍGUEZ-OJOPI^{2§}, Mariely CAMACHO-DELGADO^{2§}, Bezaleel PAREDES-SUBIRANA^{2§§}

¹Universidad Autónoma del Beni “José Ballivián”, Carrera de Ingeniería Forestal, Riberalta, Beni, Bolivia. * <https://orcid.org/0000-0003-1999-4044>

²Universidad Autónoma del Beni “José Ballivián”, Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, Riberalta, Beni, Bolivia. <https://orcid.org/0009-0008-2596-2376>[†], <https://orcid.org/0009-0004-9861-5712>[§], <https://orcid.org/0000-0002-9878-9745>[§], <https://orcid.org/0000-0001-6070-7719>^{§§}.

Autor para correspondencia*: azonta@uabjb.edu.bo

RESUMEN

Ochroma pyramidale es una especie tropical de rápido crecimiento encontrada en bosques secundarios de la Amazonía Norte de Bolivia. Su madera de baja densidad y fácil manejo presenta demanda insatisfecha actualmente. Este estudio evaluó el efecto de tres espaciamientos (2×2 m, 3×4 m y 4×4 m) sobre el crecimiento de *O. pyramidale* en plantaciones de monocultivo en Guayaramerín y Riberalta. Las variables evaluadas fueron el diámetro a 1.3 m, altura total, altura de fuste y factor de forma basado en conicidad del fuste. Se muestrearon 300 plantas de una población de 2000 individuos (intensidad 15%). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Los espaciamientos amplios (3×4 m y 4×4 m) promovieron mayor incremento medio anual en DAP (4.89 y 4.74 cm/año respectivamente) y volumen individual (0.028 y 0.023 m³/árbol/año). El espaciamiento denso (2×2 m) resultó en mayor incremento medio anual en altura total (4.5 m/año) y volumen por hectárea (16.7 m³/ha/año) debido al mayor número de árboles. Se concluye que la densidad alta (2×2 m) favorece el crecimiento inicial en altura, promoviendo fustes rectos y altos esenciales para madera de calidad, mientras que la densidad baja (4×4 m) favorece el incremento diamétrico con fustes cortos, menos favorable para producción maderera.

Palabras clave: Balsa, espaciamiento de plantación, silvicultura, crecimiento forestal, Amazonía boliviana.

ABSTRACT

Ochroma pyramidale is a fast-growing tropical species found in the secondary forests of Northern Bolivian Amazon. Its low-density wood, with easy workability has an unmet demand. This study evaluated the effect of three spacings (2×2 m, 3×4 m, and 4×4 m) on *O. pyramidale* growth in monoculture plantations in Guayaramerín and Riberalta. Variables evaluated were diameter at 1.3 m, total height, stem height, and form factor based on stem taper. Three hundred plants were sampled from a population of 2000 individuals (15% intensity). Results showed statistically significant differences between treatments. Wide spacings (3×4 m and 4×4 m) promoted higher mean annual increment in DBH (4.89 and 4.74 cm/year respectively) and individual volume (0.028 and 0.023 m³/tree/year). Dense spacing (2×2 m) resulted in a higher mean annual increment in total height (4.5 m/year) and volume per hectare (16.7 m³/ha/year) due to a higher tree density. High density (2×2 m) favors initial height growth, promoting straight and tall stems that are essential for quality wood, while low density (4×4 m) favors diametric increment with short stems, which are less favorable for timber production.

Keywords: Balsa, planting spacing, silviculture, forest growth, Bolivian Amazon.

INTRODUCCIÓN

Ochroma pyramidalis conocida comúnmente como balsa, es una especie que se encuentra en bosques nativos desde México hasta Perú (Arteaga-Crespo *et al.*, 2022). La madera de balsa tiene baja densidad, facilidad de manipulación y versatilidad industrial usada para hacer flotadores, aeromodelismo, embalajes y una variedad de componentes livianos (Jiménez Romero *et al.*, 2017).

En la región amazónica de Bolivia, especialmente en el departamento del Beni, *O. pyramidalis* ofrece una alternativa económica valiosa para los productores forestales debido a su ciclo de vida corto para la industria y la demanda en los mercados nacionales e internacionales (Mostacedo *et al.*, 2009). Sin embargo, el aprovechamiento de esta especie ha sido de forma tradicional, principalmente en la extracción de individuos desde los bosques naturales, lo que ha producido la sobreexplotación de poblaciones silvestres, siendo de urgencia el desarrollo de sistemas de cultivo sostenibles (Reynel *et al.*, 2003).

La balsa se caracteriza por ser altamente demandante de radiación solar, de rápido crecimiento inicial seguida de una fase de lignificación (Plaza-Aspiazu, 2023). Este comportamiento silvicultural debe ser considerado al momento de establecer la densidad de plantación o el espaciamiento inicial y constituye un factor determinante en el desarrollo morfo-fisiológico de la especie. Lamprecht (1990) en su libro Silvicultura Tropical indicó que el espaciamiento entre árboles regula la competencia intraespecífica por recursos clave como luz, agua y nutrientes. Según Del Valle-Baldeón (2021) y Evans & Turnbull (2004), un incremento en el espaciamiento entre plantas disminuye la competencia entre plantas

por agua, nutrientes y radiación solar. Una menor competencia entre plantas favorece el crecimiento del diámetro y contribuye a un mayor crecimiento individual. En contraste, densidades elevadas pueden restringir el desarrollo de cada árbol, pero incrementar la producción total por unidad de superficie (Del Valle-Baldeón, 2021).

Investigaciones ejecutadas en Ecuador establecieron que densidades de 1 111 árboles/ha (espaciamiento de 3 x 3 m) es la que posibilita una producción adecuada con la calidad requerida por el mercado (Plaza-Aspiazu, 2023). En condiciones ambientales y espaciamientos adecuados, las plantas de balsa desarrollan alturas de nueve metros con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 25 cm en cuatro años (Mendoza, 2012). Smith & Jones (2019) evidenciaron el impacto de la densidad en el crecimiento vertical, mientras que Barragán-Márquez (2015) reportó variaciones en el volumen según la localidad.

En la región norte de la Amazonía de Bolivia existe un alto potencial para programas de reforestación con especies como balsa, utilizando áreas ocupadas por una vegetación de gramínea (*Imperata cylindrica*). La insuficiente información validada en la región sobre el crecimiento de balsa en plantaciones forestales limita recomendar a los inversionistas programas comerciales con esta especie. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de tres espaciamientos de plantación (2x2 m, 3x4 m y 4x4 m) sobre el crecimiento y desarrollo morfológico de la balsa en sistemas de monocultivo, con el fin de generar recomendaciones para los productores de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y caracterización de las áreas de estudio

La investigación consideró plantaciones de balsa existentes en la Granja Claudia con localización geográfica: 10°49'36" S y 65°21'24" O, municipio de Guayaramerín y en plantaciones en la Estación experimental El Siringalito (11°00'23" S y 66°03'47" O), municipio de Riberalta, ambos del departamento del Beni.

El clima de la región es tropical húmedo, con temperaturas medias anuales entre 26° C y 32° C y precipitaciones de 1 600 a 1 900 mm. Suelos de baja fertilidad natural, alta acidez, baja capacidad de intercambio catiónico efectiva, con textura franco-arenosa primordialmente y con buen drenaje natural principalmente los suelos ubicados en zonas de tierra firme (Navarro & Maldonado, 2002).

Específicamente, las plantaciones de balsa evaluadas están sobre suelos de tierra firme, bien drenados, profundos, fracos y franco arcilloso, con baja fertilidad natural, pH promedio de 4.2, índice de materia orgánica menor a 1%, baja capacidad de intercambio catiónico, 5 y 6.5, y valores muy bajos de nitrógeno, fósforo y potasio (CIAT, 2023). En estos terrenos las áreas correspondían a terrenos previamente “deforestados”, con cobertura de gramíneas, que fueron utilizados anteriormente como pastizales para ganadería.

Diseño Experimental y Manejo de la Plantación

La preparación del terreno fue manual y consistió en la limpieza del área y el control de sepes. Las líneas de plantación fueron demarcadas y los pozos fueron abiertos con dimensiones de 20 cm × 20 cm × 30 cm, distribuidas en bloques con diferentes espaciamientos: 2 × 2 m, 3 × 4 m y 4 × 4 m, aplicando las recomendaciones de Arteaga *et al.*, 2022. Los tratos

culturales aplicados en las plantaciones fueron limpieza con el uso de desbrozadora con una frecuencia de 4 veces por año, control de sepes con Mirex aplicado en las galerías principales y control de incendios con apertura de fajas de 3 m de ancho, con el fin de asegurar buenas condiciones ambientales para el crecimiento de las plantas de balsa. En cada tratamiento se delimitó un área interna y dentro de ella, al azar fueron demarcadas 100 plantas de balsa por tratamiento y en todo el ensayo se trabajó con 300 individuos.

Para medir los DAP se utilizó una cinta diamétrica. El DAP es el diámetro del tronco medido a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo (Avery & Burkhardt, 2015). La altura total es la longitud vertical entre la base del árbol y el punto más alto del ápice (Loetsch *et al.*, 1973) y la altura del fuste es la longitud vertical desde la base del árbol hasta la altura de la primera rama significativa (Husch *et al.*, 2003).

Cálculo de Incrementos y Volumen

Los parámetros considerados para el análisis estadístico fueron: incremento medio anual en DAP e incremento medio anual en altura, y para establecer el factor de forma del fuste se consideró el diámetro de la base de la planta y el diámetro en el punto de formación de la copa. Finalmente, se estimó el volumen total utilizando la fórmula: $V_{\text{total}} = \text{Área basal} * \text{altura total} * F_{\text{forma}}$ para cada individuo y para la población se multiplicó el volumen individual promedio por las diferentes densidades evaluadas:

T1: 2 × 2 m (2 500 árboles/ha)

T2: 3 × 4 m (833 árboles/ha)

T3: 4 × 4 m (625 árboles/ha)

Variables mensuradas

Las mediciones se realizaron en árboles de dos años de edad, registrando las siguientes variables dasométricas:

Diámetro a la Altura del Pecho: Medido a 1.3 m del suelo con una cinta diamétrica.

Diámetro del fuste en el punto de formación de la copa.

Altura Total (Ht): Distancia desde el suelo hasta el ápice del meristemo principal.

Altura de Fuste (Hf): Distancia desde el suelo hasta la primera bifurcación principal de la copa.

Análisis Estadístico

Para determinar el efecto del espaciamiento sobre las variables de crecimiento y producción, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), se realizó una prueba de

comparación de medias de Tukey (HSD) para identificar qué tratamientos diferían entre sí.

RESULTADOS

Incremento Medio Anual en Diámetro (IMA-DAP), Altura Total (IMA-Ht), Altura de Fuste (Hf)

El análisis de varianza al 5% de error para la variable IMA-DAP, determinó un valor de $F_{\text{calculado}} = 6.03$ mayor que $F_{\text{crítico}}$, indicador de que existe diferencia significativa entre tratamientos. La comparación entre medias con la prueba de Tukey al 5% de error indica que los espaciamientos 4 x 4 y 4 x 3 m son iguales con valores de incremento de 4.89 y 4.74 cm por año, respectivamente, y ambos son diferentes del tratamiento con espaciamiento de 2 x 2 m, que alcanzó incrementos medios anuales de 4.22 cm (Tabla 1).

Tabla 1.- Incrementos Medios Anuales (IMA) en DAP, Ht y Hf para Plantas de Balsa Sembradas con Diferente Espaciamiento entre Individuos (Valores acompañados de la misma letra son estadísticamente iguales al 5% error).

Tratamientos	IMA (DAP cm)	IMA Ht(Altura total)	IMA Hf (Altura fuste m)
2 x 2 m	4.22 b	4.5 a	3 a
4 x 3 m	4.74 a	3.5 b	2.9 a
4 x 4 m	4.89 a	3.2 b	2.2 b

El análisis de varianza para la variable IMA Ht presentó valor de $F_{\text{calculado}} = 13.02$; $P < 0.05$), mayor que $F_{\text{crítico}}$. La comparación entre medias por la prueba de Tukey indica que las alturas totales son iguales entre los tratamientos con espaciamiento de 3 x 4 y 4 x 4 m y diferentes del tratamiento con espaciamiento de 2 x 2 m (Tabla 1).

La ANOVA para el IMA Hf también fue significativamente afectada por el espaciamiento. Los tratamientos de 2x2 m y 3x4 m presentaron fustes más altos y limpios (3.0 m y 2.9 m) en comparación con el tratamiento de 4x4 m (2.2 m), donde la ramificación comenzaba a menor altura.

Volumen Individual y por Hectárea

El análisis de varianza al 5% de error para la variable IMA en volumen individual presentó un valor de $F_{\text{calculado}}$ de 5.05 mayor que $F_{\text{crítico}}$ lo que significa que al menos un tratamiento presentó un IMA de volumen individual diferentes de los demás tratamientos. La

prueba de Tukey al 5% de error determinó que los espaciamientos más amplios 3×4 m ($0.028 \text{ m}^3/\text{árbol/año}$) y 4×4 m ($0.023 \text{ m}^3/\text{árbol/año}$) son iguales en comparación con el espaciamiento denso de 2×2 m ($0.013 \text{ m}^3/\text{árbol/año}$) (Figura 1).

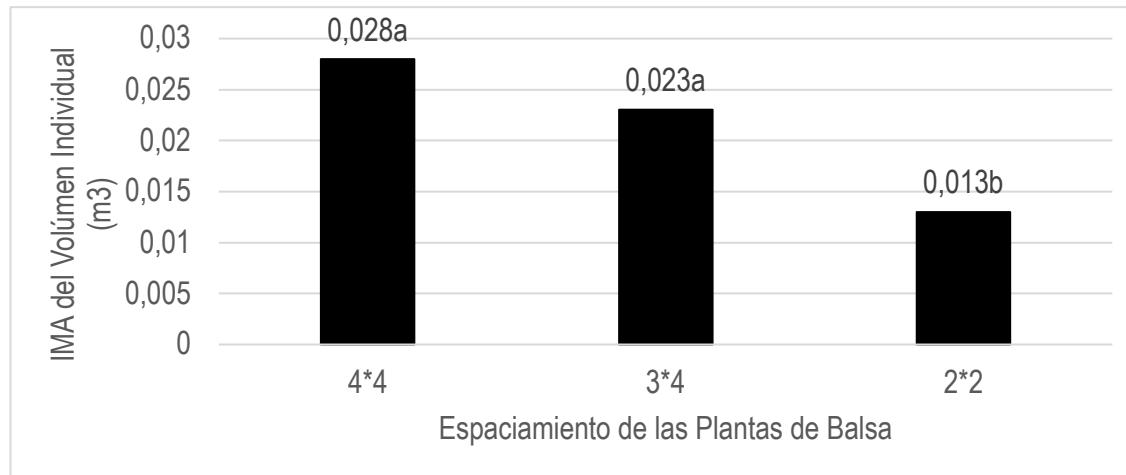


Figura 1. Incremento Medio Anual del Volumen Individual de Plantas de Balsa Sembradas en Diferentes Espaciamiento Valores de las barras con la misma letra (a) son estadísticamente iguales y barras con valores diferentes(b) con estadísticamente diferentes, por la prueba de Tukey al 5% error).

Sin embargo, al analizar el volumen total por hectárea, la tendencia se invirtió. El tratamiento de 2×2 m alcanzó un IMA de $16.7 \text{ m}^3/\text{ha/año}$, un valor

significativamente superior al de los tratamientos de 3×4 m ($9.5 \text{ m}^3/\text{ha/año}$) y 4×4 m ($8.6 \text{ m}^3/\text{ha/año}$) (Figura 2).

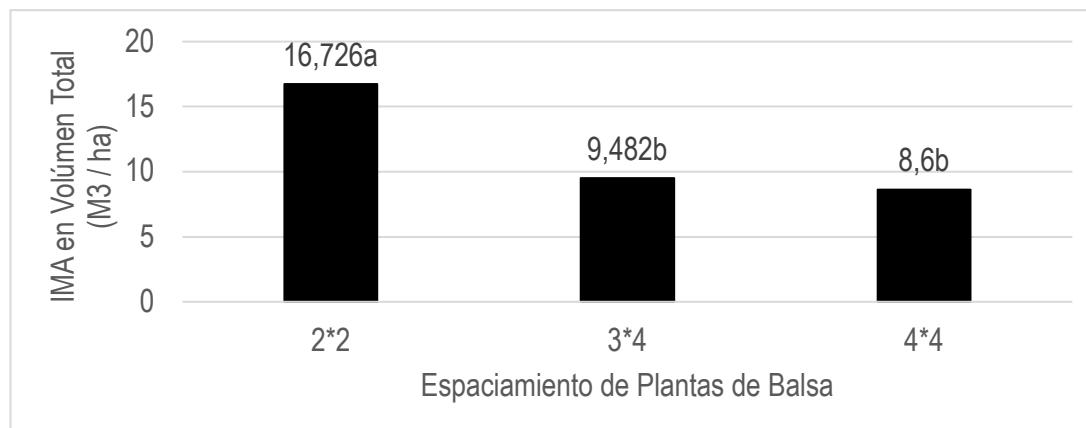


Figura 2. Incremento Medio Anual en Volumen Total (m^3/ha) para Plantas de Balsa Sembradas en Diferentes Espaciamiento (Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de error según prueba de Tukey).

DISCUSIÓN

En espaciamientos amplios (3×4 m y 4×4 m), la menor competencia por recursos como la luz, el agua y los nutrientes permite a los árboles individuales desarrollar un mayor diámetro y, consecuentemente, un mayor volumen individual. Este hallazgo es consistente con los principios de la ecología forestal y estudios previos en otras especies de rápido crecimiento (Peña-Claros & Fredericksen, 2007; Smith & Jones, 2019). Los valores de IMA-DAP obtenidos (4.7–4.9 cm/año) se encuentran dentro del rango reportado por Morales-Villavicencio (2022) en Ecuador, lo que valida la aplicabilidad de estos resultados.

En contraposición el DAP de espaciamiento de 2×2 m que representa una densidad de 2 500 plantas/ha genera rápidamente competencia entre individuos de balsa por luz, lo que produce una reacción alométrica asignando mayor crecimiento en altura y menor en diámetro, principio clave en la ecofisiología vegetal, (Di Benedetto & Tognetti, 2016). Esto explica el mayor IMA en altura y la mayor altura de fuste observada en este tratamiento. Esta estrategia maximiza la capacidad de la planta para alcanzar el dosel y evitar ser sombreada por sus vecinas, un comportamiento típico de especies pioneras (Poorter *et al.*, 2005).

Desde una perspectiva de manejo, la implicación más importante es la diferencia en el volumen por hectárea. Aunque cada árbol en el tratamiento de 2×2 m es individualmente más pequeño, el alto número de individuos por hectárea (2500 árboles/ha) más que compensa esta reducción, resultando en una productividad de biomasa total significativamente mayor. Este resultado es crucial para los productores cuyos objetivos se centran en la

producción de volumen total para pulpa, bioenergía o pequeños postes. Sin embargo, para la producción de madera de aserrío, donde se requieren trozas de mayor diámetro, los espaciamientos más amplios son preferibles, a pesar de su menor rendimiento volumétrico total.

La elección final del espaciamiento dependerá, por tanto, del producto final deseado y del plan de manejo, que puede incluir raleos intermedios para modular la competencia a lo largo del ciclo de rotación.

En base de estos resultados se puede concluir que:

El espaciamiento inicial utilizado en plantaciones de balsa afecta su desarrollo morfológico y la producción de madera cuando sembradas en suelos de tierra firme en sitios con condiciones ambientales similares a la existente en las áreas de estudio.

Los espaciamientos amplios (3×4 m y 4×4 m) favorecen el crecimiento individual, resultando en árboles con mayor diámetro y mayor volumen por individuo.

El espaciamiento denso (2×2 m) maximiza la productividad por unidad de área, generando el mayor volumen total por hectárea, y promueve un mayor crecimiento en altura y fustes más rectos debido a la competencia por la luz.

La elección del espaciamiento debe basarse en los objetivos de producción: espaciamientos anchos para madera de aserrío de mayor dimensión, y espaciamientos densos para maximizar la biomasa total por hectárea.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades y docentes de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Autónoma del Beni “José Ballivián” en

Guayaramerín y al personal de campo que participó en la implementación y manejo de las plantaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arteaga-Cresco, Y.; García-Quintana, Y.; Bravo-Medina, C.A. & Ureta-Leones, D.A., 2022. Respuesta morfológica y fisiológica de *Ochroma pyramidalis* producida en viveros mediante tecnología biopot a la fertilización con N, P, K utilizando un diseño óptimo personalizado. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 10(1): 31–43.

Avery, T.E. & Burkhart, H.E. 2015. *Forest Measurements*. Waveland Press, Inc. Long Grove, Illinois, EE. UU.

Barragán-Márquez, J.A. 2015. Evaluación del crecimiento de *Ochroma pyramidalis* en plantaciones de un año de edad en el cantón Ventanas, provincia de Los Ríos. Tesis de licenciatura en ingeniería forestal. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador.

Del Valle-Baldeón, J.A. 2021. Costo de establecimiento y crecimiento inicial de una plantación de *Ochroma pyramidalis* (Cab. Ex. Lam) Urb. (balsa) en el cantón El Empalme, provincia del Guayas. Tesis de licenciatura en ingeniería forestal. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador.

Di Benedetto, A.H. & Tognetti, J.A. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 42(3): 258–282.

Evans, J. & Turnbull, J.W. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics: The Role, Silviculture, and Use of Planted Forests for Industrial, Social, Environmental, and Agroforestry Purposes*. Oxford University Press. Oxford, UK.

Husch, B.; Beers, T.W. & Kershaw, J.A. Jr. 2003. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons. USA.

Jiménez-Romero, E.; Garcías Franco, L.; Carranza Patiño, M.; Carranza Patiño, H.M.; Morante Carriel... & Cuásquer Fuel, J. 2017. Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidalis* (Cav. ex Lam) Urb. en Ecuador. *Scientia Agropecuaria* 8(3): 243–250.

Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas - posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Loetsch, F.; Zöhrer, F. & Haller, K.E. 1973. *Forest Inventory. Volume II. Inventory Data Collected by Terrestrial Measurements and Observations. Data Processing in Forest Inventory. The Same Plot. Plotless Sampling and Regeneration Survey. List Sampling with Unequal Probabilities. Planning, Performance and Field Checking of Forest Inventories*. BLV Verlagsgesellschaft. Múnich, Alemania.

Mendoza, W. 2012. *Manual técnico para el cultivo de balsa (*Ochroma pyramidalis*) en el Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Ecuador.

Morales-Villavicencio, J.E. 2022. Determinación del incremento medio anual de *Ochroma pyramidalis* (Cav. ex Lam.) Urb. (balsa) en diferentes sectores de la provincia de Los Ríos. Tesis de licenciatura en ingeniería forestal. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador.

Mostacedo, B.; Villegas, Z.; Licona, J.C.; Alarcon, A.; Villaroel, D.; Peña-Claros, M. & Fredericksen, T.S. 2009. *Ecología y Silvicultura de los Principales Bosques Tropicales de Bolivia*. Instituto

Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz,
Bolivia.

Navarro, G. & Maldonado, M. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes acuáticos. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Peña-Claros, M. & Fredericksen, T.S. 2007. Growth responses of tropical trees to thinning. *Forest Ecology and Management* 253(1–3): 54–61.

Plaza-Aspiazu, X.I. 2023. Evaluación de sustratos en la producción de plántulas de *Ochroma pyramidalis* en Manabí. Tesis de licenciatura en ingeniería forestal. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador.

Poorter, L., Bongers, F., Sterck, F.J. & Wöll, H. 2005. Beyond the regeneration phase: differentiation of height light trajectories among tropical tree species. *Journal of Ecology* 93(2): 256–267.

Reynel, C.; Pennington, T.D.; Pennington, R.T.; Flores, C. & Daza, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Tarea Gráfica Educativa. Lima, Perú.

Smith, J. & Jones, A. 2019. Density-dependent growth in tropical pioneer species. *Journal of Tropical Forestry* 45(3): 210–225.