



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



<https://doi.org/10.14483/2256201X.21987>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

ISSN 0120-0739 • e-ISSN 2256-201X

Respuesta de clones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) a la fertilización química en invernadero

Response of Mahogany Clones (*Swietenia macrophylla* King) to Chemical Fertilization in a Greenhouse

Carlos Enrique Ávila Arias^a, Orlando Chinchilla Mora^b, Víctor Hugo Meza Picado^b, William Fonseca González^b, Dagoberto Arias Aguilar^c

^a Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Universidad Nacional, Tecnológico de Costa Rica y Universidad Estatal a Distancia.

^b Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional Autónoma. Heredia, Costa Rica.

^c EcoLab, Escuela Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Recibido: 18 de marzo de 2024

Aceptado: 12 de septiembre de 2024

Citación: Ávila Arias, C. E., Chinchilla Mora, O., Meza Picado, V., Fonseca González, W., & Arias Aguilar, D. (2025). Respuesta de clones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) a la fertilización química en invernadero. *Colombia Forestal*, 28(1), e21987. <https://doi.org/10.14483/2256201X.21987>

HIGHLIGHTS

- Se reportan los elementos clave en la fertilización inicial de clones de caoba en vivero.
- El zinc es un elemento esencial para el desarrollo en diámetro y altura de la caoba en vivero.
- Se ratifica la necesidad de aplicar nitrógeno en la fertilización inicial de caoba clonal.
- El magnesio es vital para una mayor biomasa aérea y radicular de la caoba clonal en vivero.
- El orden de importancia en la fertilización de la caoba clonal en vivero es zinc > nitrógeno > magnesio > calcio.

Resumen

Los sistemas de producción forestal aportan bienes y servicios para el bienestar de la humanidad, así como para la mitigación del cambio climático. Esta investigación evaluó el crecimiento inicial de caoba clonal (*Swietenia macrophylla*) en invernadero como respuesta a la fertilización química. Se estableció un ensayo de bloques completos al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones. Los elementos nutricionales fueron N, B, Ca, Zn y Mg, y cada tratamiento correspondió a la ausencia de uno de estos elementos. Se calculó

el incremento en el diámetro a la base y la altura total durante siete meses. No se registraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. No obstante, el peso del efecto de cada tratamiento fue diferenciado. Los resultados señalan que la ausencia de N > Zn > Mg fue la más limitante para el desarrollo de las plantas. Por tal motivo, dichos elementos deben estar presentes en la fertilización de clones de caoba en invernadero.

Palabras clave: especies nativas, nutrición forestal, plantaciones forestales, producción clonal, vivero.

Abstract

Forest production systems provide goods and services for the well-being of humanity, as well as for mitigating climate change. This research evaluated the initial growth of clonal mahogany (*Swietenia macrophylla*) in a greenhouse, in response to chemical fertilization. A randomized complete block trial was established, with six treatments and five repetitions. The nutritional elements were N, B, Ca, Zn, and Mg, and each treatment corresponded to the absence of one of these elements. The increase in diameter at the base and the total height was calculated for each plant over seven months. No statistically significant differences were recorded between treatments. However, the weight of the effect of each treatment was distinct. The results indicate that the absence of N > Zn > Mg limited plant development to the greatest extent. Therefore, these elements must be present in the fertilization of mahogany clones in greenhouses.

Keywords: native species, forest nutrition, forest plantations, clonal production, greenhouse.

INTRODUCCIÓN

La humanidad está viviendo una de las crisis más severas a causa del cambio global o climático. Esto, producto de la generación descontrolada de gases de efecto invernadero, principalmente de dióxido de carbono (CO₂) (IPCC, 2014). Muchas medidas se han propuesto para disminuir la concentración atmosférica de este compuesto, pero la más eficiente y eficaz ha sido el aumento de los reservorios de carbono en la biomasa de los árboles, a través de la conservación de los ecosistemas y el aumento del área o cobertura forestal (Chave *et al.*, 2014).

Los sistemas de producción forestal, además de contribuir a mitigar el cambio climático (Chave *et al.*, 2014; Avitabile *et al.*, 2016), generan otra serie de beneficios para la sociedad, como la conservación de suelos y del recurso hídrico, hábitats para la vida silvestre (Andrade *et al.*, 2008; van Bodegom *et al.*, 2008) y empleo en zonas rurales. Lo anterior, sin dejar de mencionar la madera, materia prima para los distintos productos de la industria forestal.

El éxito en el establecimiento de bosques plantados y la rentabilidad financiera dependen de varios factores, entre ellos la calidad del sitio (determinada por las condiciones ambientales y las características edáficas) (Camacho-Linton *et al.*, 2013; Minoche *et al.*, 2017), la calidad genética de las plantas (Fallas, 2017; Badilla & Murillo, 2022) y la gestión de la plantación (ejecución de labores silviculturales). Parte relevante en el manejo de la plantación es la nutrición de las plantas; el diagnóstico de las necesidades nutricionales, a través de la técnica del elemento faltante, proporciona información cualitativa sobre los nutrientes que pueden limitar el desarrollo (Matos *et al.*, 2007; Matos Viégas *et al.*, 2012; da Silva *et al.*, 2011; Gomes da Silva *et al.*, 2007). Este procedimiento ha sido utilizado en estudios de naturaleza diversa (Maffei *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2008; Corcioli *et al.*, 2016).

A nivel edáfico, la fertilidad propia del sitio es de suma importancia y condiciona el uso de fertilizantes para mejorar el crecimiento. La fertilización afecta la dinámica de los microorganismos del suelo que participan en la formación de humus, los ciclos de nutrientes, la descomposición de compuestos y la formación de agregados (Wu *et al.*, 2011). Según Ruiz *et al.* (2001), la fertilización es la técnica más eficiente para acelerar el crecimiento y aumentar la supervivencia de las plantas en vivero y las masas forestales establecidas en campo.

En Costa Rica se ha dado mucha importancia a las especies exóticas como la teca y la melina (INEC, 2018), dejando atrás a las nativas a pesar de presentar buen crecimiento, características físico-mecánicas de excelente calidad y buen precio y mercado. La caoba (*S. macrophylla*) representa a este grupo de especies olvidadas, de buen comportamiento en bosque natural y en sistemas agroforestales (Chinchilla *et al.*, 2021). Esta especie ha sido muy investigada, sobre todo alrededor de la plaga *Hypsiphilla grandella* (Matos Viégas *et al.*, 2012; Lopes da Silva *et al.*, 2014; Calixto *et al.*, 2015; Silva Pedroso *et al.*, 2015), y más recientemente se han desarrollado programas de mejoramiento genético para la reproducción clonal de los individuos con mejor forma, mejor crecimiento y mayor resistencia a la *Hypsiphilla* (Ávila-Arias *et al.*, 2023). Las exigencias nutricionales de estas plantas son poco conocidas, razón por la cual el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR) inició ensayos en invernadero, con el objetivo de evaluar el efecto de elementos químicos en su desarrollo (crecimiento en diámetro y altura). Este estudio tiene como objetivo determinar los elementos indispensables para la adecuada fertilización de la caoba clonal en invernadero y, con ello, complementar el paquete silvicultural de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Este estudio se desarrolló en el invernadero del INISEFOR de la Universidad Nacional, ubicado en Santa Lucía de Barva, Heredia, Costa Rica. La estructura del invernadero es en aluminio con techo en plástico, y su perímetro está protegido con sarán y malla anti-áfido. El sitio se encuentra a 1050 m de altitud, y posee temperatura y precipitación promedio anuales de 20.4 °C y 2270 mm respectivamente. Dentro de la estructura, la temperatura media es de 23 °C, y la humedad relativa se mantiene en 70 % mediante riego artificial controlado, según el protocolo de reproducción vegetativa de la especie desarrollado por el INISEFOR.

Material vegetal, sustrato y siembra

Las plantas utilizadas para el ensayo son parte de la colección clonal que reproduce el INISEFOR, sobre la cual se han realizado distintas investigaciones por más de 15 años. Para este estudio, se evaluaron 10 individuos por tratamiento de los clones 1, 2, 4, 5 y 13, que hacen parte de los 20 mejores genotipos de caoba con los que cuenta la base genética del INISEFOR, seleccionados mediante diversos ensayos de investigación.

El sustrato para el llenado de las bolsas de polietileno fue tierra mezclada con estiércol equino en una proporción de 3:1, al cual se le realizó un análisis químico completo (Tabla 1). Las plantas utilizadas fueron producidas en *jiffy pellets* y, al momento del trasplante a la bolsa, tenían una edad de seis meses, tomados en cuenta a partir de la cosecha de los esquejes en las plantas madre.

Tabla 1. Resultados del análisis químico del sustrato utilizado en el ensayo

Análisis	Unidades	Resultado	Procedimiento de análisis
pH	UpH	6.40	PMA-001
Conductividad eléctrica	Ms.cm ⁻¹	0.17	PMA-010
Acidez	cmol (+)/l	0.04	PMA-009
Calcio	cmol (+)/l	1.80	PMA-005
Magnesio	cmol (+)/l	0.34	PMA-005
Potasio	cmol (+)/l	1.70	PMA-005
CICE	cmol (+)/l	3.90	ND
Fósforo	mg/l	7.91	PMA-003
Cobre	mg/l	10.0	PMA-005
Zinc	mg/l	1.50	PMA-005
Manganeso	mg/l	4.40	PMA-005
Hierro	mg/l	88.0	PMA-005
Sat acid %	%	1.03	ND
Sat Ca %	%	46.4	ND
Sat Mg %	%	8.80	ND
Sat K %	%	43.8	ND
Ca/Mg	ND	5.30	ND
Ca/K	ND	1.10	ND
Ca+Mg/K	ND	1.30	ND

ND: no detectable

Los resultados del análisis químico realizado al sustrato fueron contrastados con el estudio de [Alvarado et al. \(2015\)](#). A partir de ello y del criterio experto del investigador principal de dicho estudio, se definieron los elementos que estuvieron presentes en los distintos tratamientos de esta investigación. Adicionalmente, el estudio de [Domínguez Liévano et al. \(2023\)](#) ratificó la decisión de utilizar magnesio en una dosis de 2 g por planta.

Tratamientos, diseño estadístico y variables evaluadas

En el ensayo se emplearon los seis tratamientos que se presentan en la [Tabla 2](#), además de la cantidad aplicada por planta de cada uno de los elementos. Los tratamientos del 1 al 5 correspondieron al sustrato con los elementos nutricionales señalados anteriormente menos uno (elemento faltante); mientras que el número seis contenía todos los elementos.

El ensayo empleó un diseño de bloques completos al azar (BCA), incluyendo cinco bloques (repeticiones) con seis tratamientos cada uno y diez plantas por tratamiento, para un total de 300 plantas evaluadas, todas ellas colocadas sobre camas a 0.8 m de altura para facilitar las mediciones y evitar el contacto directo con el suelo. Cada uno de los cinco bloques fue establecido con plántulas de un único clon, asegurando que la variable genética no interfiriera en los resultados obtenidos.

Tabla 2. Tratamientos de fertilización evaluados en el ensayo de omisión de nutrientes

Tratamiento	Descripción
1	Sin Zn
2	Sin N
3	Sin Mg
4	Sin B
5	Sin Ca
6	Testigo, fertilización con todos los elementos (1 g de Zn, 5 g de N, 2 g de Mg, 1 g de B y 3 g de Ca por planta)

Se midió el diámetro a la base (con pie de rey electrónico) y la altura al ápice (con cinta métrica) de cada planta. Ambas variables se midieron en todas las plantas al momento de establecer el ensayo. Dicha medición sirvió como la línea base sobre la cual se calcularon los incrementos tanto en altura total como en diámetro basal. Las mediciones de dichas variables se realizaron cada mes durante siete meses (al sexto mes no se realizó medición, por lo cual no se presentan dichos resultados). A partir de ello, se calculó el incremento promedio por tratamiento en cada momento de medición y para cada variable evaluada ($e_1 - e_0$, $e_2 - e_0$, ..., $e_n - e_0$).

Análisis estadístico

Se verificaron los supuestos estadísticos (normalidad de residuos y homocedasticidad) para el incremento en ambas variables mediante pruebas de Levene y de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov o Anderson-Darling. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de confianza del 95 % (Wong, 2010; Dagnino, 2014), para lo cual se utilizó el programa estadístico InfoStat.

RESULTADOS

El ANOVA no detectó diferencias significativas entre tratamientos tanto para el diámetro a la base como para la altura total en ninguno de los seis momentos evaluados (Tabla 3). No obstante, como se identificó a partir del peso de cada tratamiento (determinado como su superioridad o inferioridad respecto al promedio de todos los tratamientos), el diámetro del tratamiento 5 (T5: sin Ca) registró el mayor incremento a lo largo del periodo de observación. Por su parte, el T1 (sin Zn) fue el de menor incremento en las evaluaciones durante los primeros cuatro meses; a partir de ese momento, el T2 (sin N) se posicionó como el de menor crecimiento en la evaluación del diámetro. El T5 superó al T1 en 20, 30 y 30 mm en el segundo, tercer y cuarto mes respectivamente. Por su parte, en la evaluación del sexto y el séptimo mes, el T5 registró 10 y 20 mm más que el T2.

El comportamiento de la altura total de las plantas fue contrario al del diámetro. El T1 (sin Zn) presentó los mayores incrementos desde la medición al segundo mes y hasta el séptimo; mientras que, para el T2 (sin N), a partir del segundo mes siempre se registraron los menores incrementos. El T1 superó al T2 en 1.05, 1.16, 1.7, 2.68 y 4.05 cm en los meses 2, 3, 4, 5 y 7 respectivamente. En altura, las diferencias incrementaron conforme avanzaba la edad.

Tabla 3. Efecto de los distintos tratamientos sobre el diámetro al cuello de la raíz (mm) y altura total en el ensayo del elemento faltante

Tratamiento	Inc. DB 0-1 m (mm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. DB 0-2 m (mm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. DB 0-3 m (mm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. DB 0-4 m (mm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. DB 0-5 m (mm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. DB 0-7 m (mm)	Sup./ Inf. (%)
Sin Zn	0.20	a -25	0.39	a -16	0.65	a -21	1.01	a -14	1.85	a 0	2.93	a 2
Sin N	0.22	a -17	0.39	a -16	0.78	a -6	1.10	a -6	1.81	a -3	2.74	a -4
Sin Mg	0.39	a 47	0.56	a 20	0.91	a 10	1.24	a 6	1.87	a 1	2.83	a -1
Sin B	0.21	a -21	0.46	a -1	0.72	a -13	1.06	a -10	1.82	a -2	2.84	a -1
Sin Ca	0.35	a 32	0.59	a 26	0.95	a 15	1.31	a 12	1.91	a 3	2.94	a 3
Testigo	0.22	a -17	0.41	a -12	0.95	a 15	1.31	a 12	1.88	a 1	2.91	a 2
Promedio	0.27		0.47		0.83		1.17		1.86		2.87	

Tratamiento	Inc. AT 0-1 m (cm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. AT 0-2 m (cm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. AT 0-3 m (cm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. AT 0-4 m (cm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. AT 0-5 m (cm)	Sup./ Inf. (%)	Inc. AT 0-7 m (cm)	Sup./ Inf. (%)
Sin Zn	0.77	a -26	3.07	a 15	4.81	a 10	7.38	A 14	10.73	a 20	17.35	a 14
Sin N	0.87	a -17	2.02	a -25	3.65	a -17	5.68	A -12	8.05	a -10	13.30	a -13
Sin Mg	0.99	a -5	2.65	a -1	4.37	a 0	5.98	A -8	8.01	a -10	14.68	a -4
Sin B	1.65	a 58	2.73	a 2	4.33	a -1	6.26	A -3	8.23	a -8	15.14	a 0
Sin Ca	1.21	a 16	2.70	a 1	4.69	a 7	6.58	A 2	8.97	a 1	15.43	a 1
Testigo	0.77	a -16	2.89	a 8	4.47	a 2	6.92	A 7	9.46	a 6	15.39	a 1
Promedio	1.04		2.68		4.39		6.47		8.91		15.22	

Inc. DB: incremento en el diámetro en la base. Inc. AT: incremento en el diámetro en la base. Sup./Inf. (%): porcentaje de superioridad o inferioridad de cada tratamiento con respecto al promedio de todos los tratamientos. Letras diferentes en las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

En la [Tabla 4](#) se presentan los resultados de la determinación de los pesos verde y seco a los siete meses de establecido el ensayo. Esto, para las biomásas aérea y radicular respectivamente. En lo que respecta a la sección aérea de las plantas evaluadas ([Tabla 4](#)), se registraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El T1 (sin Zn) registró el mayor peso verde, y el T6 (con todos los elementos) el mayor peso seco.

Tabla 4. Efecto de los distintos tratamientos sobre los pesos verde y seco de la biomasa aérea y radicular en el ensayo del elemento faltante

Biomasa aérea						
Tratamiento	Peso verde (g)		Sup./Inf. (%)	Peso seco (g)		Sup./Inf. (%)
Sin Zn	73.02	a	21	7.68	a	13
Sin N	56.07	ab	-7	6.57	ab	-4
Sin Mg	42.42	b	-30	4.91	b	-28
Sin B	63.01	ab	4	7.12	ab	4
Sin Ca	56.53	ab	-6	6.33	ab	-7
Con todos	71.37	a	18	8.30	a	22
Promedio	60.40			6.82		
Biomasa Radicular						
Tratamiento	Peso verde (g)		Sup./Inf. (%)	Peso seco (g)		Sup./Inf. (%)
Sin Zn	17.50	a	13	31.52	a	23
Sin N	14.48	a	-7	22.95	a	-11
Sin Mg	11.97	a	-23	16.91	a	-34
Sin B	16.29	a	5	28.29	a	10
Sin Ca	14.94	a	-4	21.03	a	-18
Con todos	18.10	a	16	33.38	a	30
Promedio	15.55			25.68		

Sup./Inf. (%): porcentaje de superioridad o inferioridad de cada tratamiento con respecto al promedio de todos los tratamientos. Letras diferentes en las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

Por su parte, la evaluación de la biomasa radicular ([Tabla 4](#)) identificó al T6 como el de mayor peso verde y seco, seguido en ambos casos por el T1. Estos dos tratamientos, además del T4 (sin B) fueron los únicos que registraron valores superiores al promedio de todos los tratamientos, *i.e.*, T2, T3 y T5 (sin N, Mg y Ca respectivamente) fueron los que presentaron valores de biomasa radicular verde y seca inferiores al promedio de todos los tratamientos.

Al respecto de lo anterior, se registró un resultado consistente tanto para la biomasa aérea como la radicular. Las plantas a las que se aplicó el T3 (sin Mg) presentaron los menores valores de peso verde y seco tanto para la biomasa aérea como para la radicular.

DISCUSIÓN

La fertilización química y orgánica es una actividad común para mejorar el rendimiento de los cultivos. Con esta práctica, se dinamiza la actividad microbiana del suelo, afectando la formación de humus, el ciclo de

nutrientes, la descomposición de compuestos y la formación de agregados (Wu *et al.*, 2011). Tanto Ruiz *et al.* (2001) como Domínguez Liévano *et al.* (2023) manifiestan que la fertilización es la técnica más eficiente para acelerar el crecimiento y aumentar la supervivencia de las plantas en vivero y en el campo. Sampaio de Souza *et al.* (2010) agregan que la misma debe realizarse en suelos ácidos, incluso si el suelo cuenta con niveles aceptables de materia orgánica.

Al respecto, en este estudio, la adición de fertilizantes no produjo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los resultados sugieren que el sustrato empleado brindó los elementos nutricionales requeridos para el crecimiento de la especie durante sus primeros meses en el vivero, *i.e.*, inicialmente, se podría deducir que, para las condiciones de este estudio, adicionar más nutrientes no afectaría en crecimiento de las plantas.

Lo anterior ha sido ratificado por diversos autores, quienes apuntan que la aplicación de fertilizantes en vivero o en campo no siempre mejora el crecimiento, pues esto depende de las características químicas del sustrato utilizado. Por ejemplo, Pérez (2017) menciona respuestas positivas en diámetro y altura a la adición de NPK, Ca y Mg en plantas de caoba cuando se establece en suelos ácidos y degradados. Por su parte, Paniagua (2004) indica que la caoba debe ser fertilizada principalmente en ultisoles a razón de $B > Fe > Mn > Zn > N > P > K > Cu$, mientras que, en inceptisoles, la jerarquización de los elementos en invernadero debe ser $P > Cu > B > Fe > N$. Para Sampaio de Souza *et al.* (2010) el orden decreciente de los elementos más necesarios para la caoba en vivero es $P > S > K > N$ en suelos ácidos.

Cervantes (2014), con plantas de *S. macrophylla*, encontró que la omisión de NPK, Ca y Mg no afectó significativamente el crecimiento del diámetro del tallo, pero fue ligeramente mayor en el tratamiento completo. Dicho autor apunta que la altura disminuyó por la omisión de K y Ca, mientras que la falta de P tuvo un menor impacto. Además, en el caso del Mg y el S, la omisión no afectó esta variable. Tampoco se vio afectada la longitud de la raíz, pero el P limitó severamente el peso seco y el volumen de las raíces.

Caso contrario es lo obtenido por Domínguez Liévano *et al.* (2023), quienes reportaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en diámetro, altura, peso seco aéreo y radicular; estas, debido al fertilizante utilizado (N, P, K y Mg). Por su parte, Ahmed *et al.* (2018) apuntan que la aplicación de fertilizante hidroxocomplejo NPK (12-11-18) y de algunos oligoelementos (2.5 % Ca, 1.6 % Mg, 0.015 % B, 0.2 % Fe, 0.02 % Mn, 0.02 % Zn y 0.025 % Cd), a razón de 15 g en plantas de caoba en vivero, indujo a un aumento significativo en altura, diámetro, número de hojas por planta, área foliar, biomasa fresca y seca total, contenido de clorofila, total de carbohidratos y contenido de NPK foliar. Calixto *et al.* (2015) indican que la aplicación de NPK a plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro, especie de la misma familia que la caoba) mejoró significativamente el crecimiento en diámetro. Esto fue corroborado por el estudio de Sampaio de Souza *et al.* (2010), quienes concluyen que la ausencia de fósforo (P) limita el crecimiento de las plantas de caoba en vivero.

En otro experimento, la respuesta no fue significativa, pero se identificó un incremento permanente en diámetro y altura en relación con los tratamientos. A los diez meses de ensayos de campo con cedro y caoba, Pérez (2009) no detectó diferencias significativas en altura y diámetro, pero encontró una mejoría en ambas variables con dosis crecientes de NPK. El autor explica que la falta de efecto pudo estar asociada a la buena fertilidad del suelo, debido a los altos contenidos de materia orgánica.

Lanares (2007) aplicó fertilizantes a base de NPK a plantas de *S. macrophylla* en fase de vivero y encontró poca respuesta a nivel estadístico para algunas de las variables. Los mejores resultados los obtuvo para el poder y energía germinativa, el área foliar, la longitud de la raíz y el peso seco de la planta. Entretanto, Franco Tucci *et al.* (2011) mencionan que el desarrollo de plántulas de caoba en vivero se ve poco influenciado por dosis crecientes de los nutrientes NPK.

Adicionalmente, autores como Saini *et al.* (2024) apuntan los beneficios de complementar una fertilización química de *S. macrophylla* en vivero por medio de biofertilizantes. Al respecto, los autores concluyen que este fertilizante orgánico influyó positivamente tanto el crecimiento como la calidad de las plántulas de caoba. Caso contrario es lo reportado por Ghorab *et al.* (2024), quienes no registraron diferencias estadísticamente significativas en las variables evaluadas en vivero, debido a la utilización de biofertilizantes para *Swietenia mahagoni*.

Finalmente, Diaz-Chuquizuta y Valdés-Rodríguez (2020) probaron el efecto de la aplicación de extractos vegetales en el crecimiento y la calidad de plántulas de caoba en vivero, la cual produjo tasas de crecimiento y pesos secos 38 % superiores a los testigos sin estos componentes vegetales. El extracto de *Ricinus communis* se identificó como la mejor alternativa orgánica para mejorar el crecimiento y la calidad de las plántulas de *S. macrophylla* en vivero.

A continuación, se repasará la influencia de cada uno de los elementos evaluados en este estudio.

Fertilización con zinc

En este estudio, el zinc (T1) fue el elemento cuya omisión afectó en mayor medida el crecimiento diamétrico. No obstante, esto fue lo que más favoreció el desarrollo de las plantas en altura total. Dichos resultados sugieren la necesidad de utilizar este elemento en la fórmula de fertilización de la caoba clonal en vivero. Lo anterior podría explicarse mediante lo apuntado por Méndez *et al.* (2016), quienes indican que el Zn favorece el crecimiento porque es precursor de la producción de auxinas que promueven división y elongación celular, e influye en la reactividad del ácido indolacético, que actúa como fitoestimulante hormonal. Sin embargo, de manera contraria, da Silva *et al.* (2011) encontraron que la omisión de Zn no afectó el crecimiento vegetal en plantas de cedro australiano. Para Sarhan *et al.* (2018), la fertilización con Zn aumentó la supervivencia, la altura, el diámetro, el área foliar, el número de hojas, la longitud de la raíz y el peso fresco y seco en partes de plantas bajo estrés salino. Esto, en comparación con tratamientos de salinidad sin Zn. Los mismos autores agregan que la aplicación de Zn aumentó el contenido de NPK, Ca, Mg, Zn, clorofila y carbohidratos totales en partes de la planta.

Fertilización con nitrógeno

La omisión de nitrógeno (T2) afectó negativamente el crecimiento en diámetro y altura en este estudio (Tablas 3 y 4). Otros autores reportan resultados similares, indicando que el N es el elemento que más limita el crecimiento de los árboles en zonas tropicales y en otros ambientes (Chang & Robison, 2003; Gómez, 2009;

Norby *et al.*, 2010; Alvarado & Raigosa, 2012; Ula *et al.*, 2019; de Souza Cardozo *et al.*, 2021) porque incide directamente en la generación de raíces, tallos, ramas y hojas (Dunn *et al.*, 2018; de Souza Cardozo *et al.*, 2021) y es fundamental en grandes cantidades para las etapas iniciales del desarrollo (de Oliveira Gonçalves *et al.*, 2013), como lo es la etapa de vivero.

En estudios similares a este, autores como Matos *et al.* (2007) y Reginatto de Wallau *et al.* (2008) reportan una reducción en el crecimiento de variables como la altura, el diámetro al cuello de la raíz y la biomasa aérea seca y de la raíz en plantas de caoba, mientras que otros autores han registrado un aumento cuando se aplica N (Mexal *et al.*, 2002; Maldonado-Torres *et al.*, 2018). Según Matos Viégas *et al.* (2012), la omisión de N en *S. macrophylla* afectó la producción de materia seca total, que fue 8.4 veces menor en comparación con un tratamiento control. Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, donde el N fue el segundo elemento que más afectó los pesos verde y seco de las biomásas aérea y radicular. Finalmente, Franco Tucci *et al.* (2009) resalta la importancia del N para el crecimiento de plantas jóvenes de *Swietenia macrophylla* en suelos oxisoles superficiales franco arenosos.

Otros autores también reportaron incrementos más bajos al omitir el N en la fertilización, por ejemplo, Silveira *et al.* (2002) sobre clones de eucalipto, Fernandes Batista *et al.* (2003) con guanábana (*Anona muricata*), Gonçalves *et al.* (2006) con plántulas de umbuzeiro y Corcioli *et al.* (2016) con plantas de *Kaya ivorensis*. En plantas de *Eucalyptus citriodora*, Maffei *et al.* (2000) encontró una reducción significativa en el diámetro del cuello de la raíz y en altura.

Según Franco Tucci *et al.* (2009), el N es uno de los elementos más usados en los programas de fertilización. Su ausencia reduce el crecimiento en altura, y un aumento en el suelo proyecta la materia seca y mejora la dinámica de la absorción de nutrientes y el contenido foliar de este y otros nutrientes, incrementando el crecimiento y la producción. La afectación negativa en el crecimiento ocurre porque el N participa en la reacción de síntesis proteica que promueve el proceso de división celular (Malavolta, 2006).

Fertilización con calcio

En el presente estudio, la omisión de Ca (T5), aun sin diferencias significativas entre tratamientos, fue la que afectó el crecimiento en diámetro en mayor medida, *i.e.*, superó al tratamiento testigo (T6) (Tabla 3). En concordancia con los resultados obtenidos, Matos Viégas *et al.* (2012) encontraron que el Ca fue el tercer factor limitante en plantas de *S. macrophylla*, cuya ausencia provocó un crecimiento 3.41 veces menor que en el tratamiento control (con todos los elementos nutricionales), y que además fue importante en la reducción de la longitud de las galerías producidas por *Hypsipyla grandella*. Matos *et al.* (2007, 2012), Gomes da Silva *et al.* (2007), Reginatto de Wallau *et al.* (2008), Cervantes (2014) y Ula *et al.* (2019) mencionan que, al omitir el Ca, se produce una reducción en el incremento de variables como la altura, el diámetro al cuello de la raíz y la biomasa seca aérea y de la raíz en plantas de caoba.

Para Lopes da Silva *et al.* (2014), las dosis de Ca aplicadas a caoba no influyeron en su desarrollo respecto a altura y diámetro al cuello de la raíz, pero redujeron la masa seca de la raíz y aérea conforme aumentó la dosis, dada la baja necesidad nutricional de estos elementos y su posible efecto fitotóxico cuando se suministran en demasía.

En otros estudios y con especies maderables diferentes a la caoba, se presentan resultados similares. Por ejemplo, [Zhou et al. \(2012\)](#), con *Tectona grandis* expuesta a Ca y B, encontraron un efecto significativo positivo solo cuando estos nutrientes interactuaban, mientras que [dos Santos Sena et al. \(2010\)](#), con plántulas de *Dinizia excelsa* Ducke, demostraron que las dosis de Ca influyeron en la altura, el diámetro del cuello y la biomasa seca del tallo y de la raíz. [Franco Tucci et al. \(2010\)](#) también reportaron incrementos positivos al aplicar Ca con plántulas de balsa (*Ochroma pyramidale*), y [Maffeis et al. \(2000\)](#) en plantas de *Eucalyptus citriodora*. Esto también se identificó en *Anona muricata* ([Fernandes Batista et al., 2003](#)) y *Spondias tuberosa* Arr. Cam ([Gonçalves et al., 2006](#)).

Fertilización con magnesio

El tratamiento con omisión de Mg (T3) ocupó una posición media (tercer lugar) en cuanto a la afectación del crecimiento del diámetro. No obstante, registró la mayor afectación en cuanto a los pesos verde y seco de las biomásas radicular y aérea. Estos resultados sugieren que el Mg es un elemento indispensable para el desarrollo de la caoba clonal en sus primeros meses de vida, por lo que debe ser indispensable en la fórmula de fertilización de la especie en vivero. [Maffeis et al. \(2000\)](#) reportaron un resultado similar en plantas de *Eucalyptus citriodora*, mencionando que la omisión de este nutriente redujo más el crecimiento en altura que en diámetro. En otros estudios se ha reportado disminución en diámetro, en altura y en biomasa seca ante la omisión de Mg, e.g., [Maffeis et al. \(2000\)](#) con *Eucalyptus citriodora* y [Santi Sarcinelli et al. \(2004\)](#) con *Acacia holosericea*.

La importancia del Mg ha sido ratificada por [Matos Viégas et al. \(2012\)](#) y [Ula et al. \(2019\)](#), quienes mencionan que, al aplicar este elemento, aumentó la biomasa seca y el número de hojas de caoba. Por su parte, tanto Reginatto de [Wallau et al. \(2008\)](#) como [Cervantes \(2014\)](#) indican que la omisión no afectó el crecimiento.

CONCLUSIONES

No se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados para el diámetro a la base ni para la altura total de las plantas. A pesar de ello, los resultados obtenidos sugieren que la ausencia de N (T2) y Zn (T1) afectó de manera negativa y en mayor medida el crecimiento de las plantas respecto a su diámetro y altura. De la misma manera, la ausencia de Mg fue lo que más afectó negativamente los pesos verde y seco de las biomásas aérea y radicular de las plantas evaluadas. Además, el Ca (T5) favoreció el desarrollo en diámetro.

Así, la fórmula de fertilización para caoba clonal en vivero, durante sus primeros meses de vida, debe contener N, Zn, Ca y Mg.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Autónoma de Costa Rica por asignar los recursos humanos y financieros para realizar la investigación. Además, los autores brindan su agradecimiento al Programa de

Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE) por involucrar el presente estudio y, con ello, generar este producto como parte de la tesis del autor principal y para correspondencia de este artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

O. Ch. M.: establecimiento del ensayo, mediciones en invernadero, creación y revisión de base de datos. V. H. M. P.: establecimiento del ensayo, mediciones en invernadero, revisión del artículo. C. E. A. A.: establecimiento del ensayo, mediciones en invernadero, procesamiento de información, revisión bibliográfica, pruebas estadísticas, redacción y revisión del artículo. W. F. G.: mediciones en invernadero, revisión de base de datos, revisión bibliográfica, redacción del artículo.

REFERENCIAS

Ahmed, S. M. M., Abdel-Ghany, N. A., El-Behairy, U. A., & Nasr, S. I. (2018). Effect of sowing medium and nitrogen fertilization rates on production and growth of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings. *Cairo*, 26(1), 161-169.
<https://doi.org/10.21608/ajs.2018.13901>

Alvarado, A., & Raigosa, J. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Alvarado, A., Camacho, M. E., Fernández-Moya, J., Mezger, G., Mata, R., Bertsch, F., Araya, M. A., Avellán, M. J., Murillo, R., Ramírez, D., Portuguese, E. M., Fallas, J. L., Ávila, C., Montero, M., Raigosa, J., Ríos, V., & Vaidés, E. E. (2015). *Interpretación del análisis foliar de varias especies forestales latifoliadas del trópico americano* [Presentación en conferencia]. VIII Congreso Nacional de Suelos.

Andrade, H., Brook, R., & Ibrahim, M. (2008). Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil* 308(12), 11-22.
<https://doi.org/10.1007/s11104-008-9600-x>

Ávila-Arias, C., González-González, W., Chinchilla-Mora, O., & Meza-Picado, V. (2023). Desempeño juvenil de clones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Pococí de Limón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 20(47), 35-47.
<https://doi.org/10.18845/rfmk.v20i47.6817>

Avitabile, V., Herold, M., Heuvelink, G., Lewis, S., Phillips, O., Asner, G., Armston, J., Ashton, P., Banin, L., Bayol, N., Berry, N., Boeckx, P., de Jong, B., Devries, B., Girardin, C., Kearsley, E., Lindsell, J., Lopez, G., Lucas, R., Malhi, Y.,

- ... & Willcock, S. (2016). An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Global Change Biology*, 22(4), 1406-20.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.13139>
- Badilla, Y., & Murillo, O. (2022). Selección clonal de *Tectona grandis* L. f. para el Pacífico seco de Costa Rica. *Uniciencia*, 36(1), 1-15.
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/14910/24386>
- Calixto, C., López, M. A., Equihua, A., Lira, D. E., & Cetina, V. M. (2015). Crecimiento de *Cedrela odorata* e incidencia de *Hypsipyla grandella* en respuesta al manejo nutrimental. *Bosque*, 36(2), 265-273.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000200012>
- Camacho-Linton, A., Ramírez-Maldonado, H., de los Santos, H., & Zamudio-Santos, F. (2013). Tablas de rendimiento para teca (*Tectona grandis* L.) en el Estado de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 92-101.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.381>
- Cervantes, J. (2014). *Efecto de la carencia de macro elementos nutritivos en el crecimiento inicial y síntomas de deficiencia en caoba (Swietenia macrophylla King) en Pucallpa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali, Perú].
<https://hdl.handle.net/20.500.14621/2340>
- Chang, S., & D. Robison. (2003). Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the Spad-502 chlorophyll meter. *Forest Ecology and Management*, 181(3), 331-338.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00004-5)
- Chave, J., Réjou, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P., Goodman, R., Henry, M., Martínez, A., Mugasha, W., Muller, H., Mencuccini, M., Nelson, B., Ngomanda, A., Nogueira, E., Ortiz, E., ... & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chinchilla, O., Corea, E., Meza, V., & Ávila, C. (2021). Crecimiento, rendimiento y costos durante los primeros tres años de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) establecida en sistemas agroforestales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(42), 62-73.
<https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i42.5540>
- Corcioli, G., Borges, J. D., & Paula, R. (2016). Deficiência de macro e micronutrientes em mudas maduras de *Khaya ivorensis* estudadas em viveiro. *Cerne*, 22(1), 121-128.
<https://doi.org/10.1590/01047760201622012085>
- Dagnino, J. (2014). Bioestadística y epidemiología: análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, 43, 306-310.
<https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>

da Silva M., Furtini, B., do Carmo, S., Volpi, F., S. I., & de Souza C. A. (2011). Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne* 17(4), 453-463.

<https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000400003>

de Oliveira Gonçalves, E., Nogueira de Paiva, H., de Lima Neves, J. C., & Gomes, J. M. (2013). Nutrição de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. sob diferentes doses de N, P, K, Ca e Mg. *Ciência Florestal*, 23(2), 273-286.

<https://doi.org/10.5902/198050989274>

de Souza Cardoso, A. A., Santos, J. Z. L., Oka, J. M., Ferreira, M. da S., Barbosa, T. M. B., & Tucci, C. A. F. (2021). Ammonium supply enhances growth and phosphorus uptake of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings compared to nitrate. *Journal of Plant Nutrition*, 44(9), 1349-1364.

<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1862197>

Díaz-Chuizuta, P., & Valdez-Rodríguez, A. (2020). Crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en respuesta a extractos vegetales. *Agrociencia*, 54(5), 673-681.

<https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2124>

Domínguez Liévano, A., Aguilera Rodríguez, M., Espinosa Zaragoza, S., Aldrete, A., & Wong Villarreal, A. (2023). Sustratos y fertilización para producir planta de *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en charolas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(77), 56-75.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i77.1332>

dos Santos Sena, J., Franco Tucci, C. A., Lima, H. N., & dos Santos Hará, F. A. (2010). Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta Amazonica*, 40(2), 309-318.

<https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000200009>

Dunn, B., Singh, H., & Goad, C. (2018). Relationship between chlorophyll meter readings and nitrogen in poinsettia leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 41(12), 1566-1576.

<https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1459697>

Fallas, J. (2017). *Funciones alométricas, de volumen y de crecimiento para clones de teca (Tectona grandis L. F.) en Costa Rica* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9240>

Fernandes Batista, M. M., Matos Viégas, I. de J., Capucho Frazão, D. A., Alvez Thomaz, M. A., & Lemos da Silva, R. de C. (2003). Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal* 25(2), 315-318.

<https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000200033>

Franco Tucci, C. A., Lima, H. N., & Ferreira Lessa, J. (2009). Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazônica*, 39(2), 289-294.

<https://www.scielo.br/j/aa/a/Hw5MyGhvQNPwHwt8Yy6pJMd/?lang=pt&format=pdf>

Franco Tucci, C. A., Lima, H. N., da Silva Gama, A., Salazar Costa, H., & Aparecida de Souza, P. (2010). Efeitos de doses crescentes de calcário em solo Latossolo Amarelo na produção de mudas de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* sw., bombacaceae). *Acta Amazonica*, 40(3), 543-548.

<https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300013>

Franco Tucci, C. A., Lopes Santos, J. Z., da Silva Jr., C. H., Aparecida de Souza, P., Paiva, I. & Nelson, V. (2011). Desenvolvimento de mudas de *Swietenia macrophylla* em resposta a nitrogênio, fósforo e potássio. *Floresta*, 41(3), 471-490.

<https://www.researchgate.net/publication/273727548>

Ghorab, S. A., Mohamed, N. H., El-Shanhorey, N. A., El-Shahat, N. S., & Rabie, A. R. (2024). Efficiency of bio-fertilizing as one of the natural alternatives to improve the growth of *Khaya senegalensis* and *Swietenia mahagoni* trees and for sustainability. *Agricultural Sciences*, 15(2), 292-310.

<https://doi.org/10.4236/as.2024.152017>

Gómez, D. (2009). Efecto de la aplicación de dosis de NPK en el crecimiento de *Swietenia macrophylla* King "caoba" en Tingo María [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].

<https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/948/T.FRS-115.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gomes da Silva, W., Franco Tucci, C. A., dos Santos Hara, F. A., Cabrita dos Santos, R. A. (2007). Efeito de micronutrientes sobre o crescimento de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) em Latossolo Amarelo. *Acta Amazonica*, 37(3), 371-376.

<https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000300008>

Gonçalves, F. C., Caires Neves, O. S., & Guedes de Carvalho, J. (2006). Deficiência nutricional em mudas de umbuzeiro decorrente da omissão de macronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(6), 1053-1057.

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600023>

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2018). Encuesta nacional agropecuaria 2018: resultados generales de la actividad agrícola y forestal.

<http://inec.cr/multimedia/encuesta-nacional-agropecuaria-2017-resultados-generales-de-la-actividad-agricola-y>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014). Climate change 2014: Mitigation of climate change. Working group III contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

<http://mitigation2014.org/report>

Lanares, K. (2007). Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento de *Swietenia macrophylla* G. King "caoba", en fase de vivero [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].

<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/660>

Lopes da Silva, M., de Souza Jr. C. J., Maciel Braga, A. C., Shigueo Ohashi, O., Silva de Melo, V., Rodrigues da Silva, G., Silva Pedroso, A., de Matos Viégas, I. J., & Medeiros Saldanha, E. C. (2014). Crescimento de mogno-brasileiro e resistência a *Hypsipylla grandella* em função do cálcio e do boro. *Revista Árvore*, 38(6), 1085-1094.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600013>

- Maffei, A. R., Vaz de Arruda, R. L., & Brito, J. O. (2000).** Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Forestalis*, 57, 87-98.
<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr57/cap06.pdf>
- Malavolta, E. (2006).** *Manual de nutrição mineral de plantas*. Editora Agronômica Ceres Ltda.
<https://es.scribd.com/document/468454177/Manual-de-Nutricao-Mineral-de-Plantas-Malavolta-Completo-pdf>
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Borja de la Rosa, A. M., Mora Patiño, M. K. (2018).** Nutrición para el rápido crecimiento de plantas de caoba (*Swietenia macrophylla* King). En M. E. Álvarez-Sánchez & A. Vázquez Alarcón (Eds.), *Agroforestería para la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad* (pp. 166-183). Universidad Autónoma Chapingo.
<https://www.researchgate.net/publication/331101278>
- Matos Viégas, I. de J., Frazão, D. A., Monteiro, O. M., de França, S. K. S., & Brito, A. C. P. (2007).** *Síntomas de deficiência de macronutrientes e produção de massa seca em plantas de mogno (Swietenia macrophylla)* [Artículo de conferencia]. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência.
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/409460/1/trab18961.pdf>
- Matos Viégas, I. de J., da Silva Lobato, A. K., da Silva Rodrigues, M. F., da Cunha, R. L. M., Capucho Frazão, D. A., de Oliveira Neto, C. F., da Conceição, H. E. O., Silva Guedes, E. M., Ruffeil Alves, G. A., & da Silva, S. P. (2012).** Visual symptoms and growth parameters linked to deficiency of macronutrients in young *Swietenia macrophylla* plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(1), 937-940.
http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/omissao_mogno2.pdf
- Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., & Lira-Saldívar, R. H. (2016).** Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*, 8(17), 140-156.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v8n17/2007-0705-ns-8-17-00140.pdf>
- Mexal, J. G., Cuevas Rangel, R. A., Negreros Castillo, P., & Paraguirre Lezama, C. (2002).** Nursery production practices affect survival and growth of tropical hardwoods in Quintana Roo, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 168, 125-133.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00735-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00735-6)
- Minoche, D., Herrero, C., Domínguez, M., & Martínez, P. (2017).** Determinación del índice de sitio de las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en Tabasco, México. *Ciencia e Investigación Agraria*, 44(2), 154-167.
<http://dx.doi.org/10.7764/rcia.v44i2.1645>
- Norby, R. J., Warren, J. M., Iversen, C. M., & McMurtrie, R. E. (2010).** CO₂ enhancement of forest productivity constrained by limited nitrogen availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 19368-19373.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1006463107>

Paniagua, A., & Toruño, H. (2004). Determinación de necesidades nutrimentales para las especies *Swietenia macrophylla* y *Cupresus lusitanica* en pruebas de invernadero. *Revista Chapingo*, 10(1), 37-41.

<https://www.redalyc.org/pdf/629/62910106.pdf>

Pérez, J. M. (2017). *Manual para el cultivo de la caoba*. Centro de investigación, enseñanza y producción agroforestal (CEPIAGRY).

<https://www.laudatosiinstitute.org/wp-content/uploads/manual-de-caoba-ISBN.pdf>

Pérez, P. (2009). *Fertilización NPK y demanda nutrimental de cuatro especies forestales en fases temprana de crecimiento* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados].

http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/1287/Perez_Camacho_P_MC_Produccion_Agroalimentaria_Tropico_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Reginatto de Wallau, R. L., de Paiva Soares, A., & Camargos, S. L. (2008). Concentração e acúmulo de macronutrientes em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. *Alta Floresta*, 6(1), 1-12.

http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol6/1_artigo_v6.pdf

Ruiz, F., Soria, F., Pardo, M., & Toval, G. (2001). *Ensayos factoriales de fertilización en masas de Eucalyptus globulus (Labiell) de mediana edad: análisis de rentabilidad de inversión por fertilización*.

http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/15724/15567

Saini, V., Behera, L. K., & Malek, S. S. (2024). Effect of organic manure and biofertilizers on early growth and vigour of *Swietenia macrophylla* King. (Mahogany). *International Journal of Economic Plants*, 11, 147-152.

<https://doi.org/10.23910/2/2024.5278>

Sampaio de Souza, C. A., Franco Tucci, C. A., Ferreira da Silva, J., & Ortiz Ribeiro, W. (2010). Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazonica*, 40(3), 515-522.

<https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300010>

Santi Sarcinelli, T., Silva Ribeiro Jr., E., Dias, L. E., de Souza Lynch, L. (2004). Sintomas de deficiência nutricional em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. *Árvore*, 28(2), 173-181.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000200003>

Santos, R. A., C. A. Franco T., F. A. dos Santos H., & W. Gomes da S. (2008). Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazonica*, 38, 453-458.

<https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000300009>

Sarhan, A. Z., Abd El-Dayem, A., Soliman, A. S., & Sherbeeni, S. A. (2018). Effect of Irrigation Water Salinity and Zinc Fertilization on Growth of *Swietenia macrophylla*. *Journal of Plant Production*, 9(7), 631-635.

<https://doi.org/10.21608/jpp.2018.36371>

Silva Pedroso, A. J., Pinheiro Ruivo, M. de L., da Silva Jr., M. L., Ohashi, O. S., Silva de Melo, V., Rosario de Oliveira, E., Barroso Estumano, M., Mohamad Birani, S., Ruffeil Alves, G. A., & da Silva Lobato, A. K. (2015). Nutrient levels

and incidence of *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) attack in young *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae) plants exposed to lime and boron levels. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 13(2), 283-290.
<http://www.itto.int/files/user/cites/brazil/Article%20published%20in%20April%202015.pdf>

Silveira, R. L. V. de A., Moreira, A., Norio Takashi, E., Sgarbi, F., & Fagundes Branco, E. (2002). Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*, 8(2), 107-116.
<https://www.redalyc.org/pdf/744/74480210.pdf>

Ula, H., Pujawati, E. D., & Payung, D. (2019). Evaluation of mahoni plant growth (*Swietenia macrophylla* King) on area used stockpile PT. Jorong Barutama Greston JBG) South Kalimantan. *Jurnal Sylva Scientee*, 2(3), 404-412.
https://doi.org/10.20527/jss.v2i3.1820_

van Bodegom, A., van den Berg, Y., & van der Meer, P. (2008). *Forest plantations for sustainable production in the tropics*. Wageningen University and Research Centre.
<https://www.researchgate.net/publication/283386385>

Wong, E. (2010). ¿Después de un análisis de varianza ... Qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 349-356.
<https://doi.org/10.15517/am.v2i2.4899>

Wu, F., Dong, M., Liu, Y., Ma, X., An, L., Young, J. P. W., & Feng, H. (2011). Effects of long term fertilization on AM fungal community structure and Glomalin-related soil protein in the Loess Plateau of China. *Plant Soil*, 342, 233-247.
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0688-4>

Zhou, Z., Liang, K., Xu, D., Zhang, Y., Huang, G., & Huaming, M. (2012). Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. *New Forests*, 43(2), 231-243.
<https://doi.org/10.1007/s11056-011-9276-6>

