

Artículo

Comparación de tratamientos naturales y químicos en la germinación y desarrollo de especies forestales tropicales

Comparison of natural and chemical treatments on germination and development of tropical forest species

Dialis Isabel Bustamante-Moyan ^{1,*}, Mercedes Susana Carranza-Patiño ² y Kevin Damian Zambrano-Benavides ³

- ¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0007-9025-706X>
² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>; mcarranza@uteq.edu.ec
³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0004-3903-7158>; kzambranob@uteq.edu.ec

Cita: Bustamante-Moyan, D. I., Carranza-Patiño, M. S., & Zambrano-Benavides, K. D. (2025). Comparación de tratamientos naturales y químicos en la germinación y desarrollo de especies forestales tropicales. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(2), 159-184. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/59>

Recibido: 28/04/2025
Revisado: 25/05/2025
Aceptado: 27/05/2025
Publicado: 30/05/2025



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. \(CC BY-NC\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

* Correspondencia: dialis.bustamante2016@uteq.edu.ec

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/59>

Resumen: El presente estudio evaluó el efecto de tratamientos pregerminativos naturales (agua de coco y gel de *Aloe vera*) y comerciales (Biotek® y Evergreen®), junto con un control (agua), sobre la germinación y el desarrollo inicial de *Schizolobium parahyba*, *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*. Se midieron variables morfológicas (altura, diámetro del tallo, número de hojas, longitud de raíz, índice de robustez) a los 15, 30 y 45 días después de la siembra. Todos los tratamientos superaron el 79% de germinación y el 90% de supervivencia, sin diferencias significativas en el porcentaje de germinación, pero sí en la velocidad de emergencia y el crecimiento inicial. *A. vera* y agua de coco promovieron una mayor altura y desarrollo radicular en *S. parahyba* y *G. arborea*, mientras que Evergreen aceleró la emergencia en *O. pyramidale*. El análisis económico demostró que todos los tratamientos fueron rentables (relación beneficio/costo > 1). Se concluye que los tratamientos naturales representan alternativas viables y sostenibles, con resultados comparables a los insumos comerciales en la producción de plántulas forestales.

Palabras clave: Reforestación; producción sostenible; desarrollo radicular; crecimiento inicial; bioestimulantes.

Abstract: This study evaluated the effects of natural pregerminative treatments (coconut water and *Aloe vera* gel) and commercial biostimulants (Biotek® and Evergreen®), along with a control (water), on the germination and early development of *Schizolobium parahyba*, *Ochroma pyramidale*, and *Gmelina arborea*. Morphological variables (seedling height, stem diameter, leaf number, root length, robustness index) were assessed at 15, 30, and 45 days after sowing. All treatments achieved germination rates above 79% and survival rates above 90%. While final germination percentages showed no significant differences, variations were observed in emergence timing and initial growth. *A. vera* and coconut water enhanced height and root development in *S. parahyba* and *G. arborea*, whereas Evergreen accelerated emergence in *O. pyramidale*. The cost-benefit analysis confirmed that all treatments were economically viable (benefit/cost ratio > 1). These findings

support the use of natural treatments as effective and sustainable alternatives to commercial inputs for forest seedling production.

Keywords: Reforestation; sustainable production; root development; initial growth; biostimulants.

1. Introducción

Los ecosistemas forestales son cruciales para la regulación del clima, el ciclo del agua y la biodiversidad, lo que juega un papel fundamental en la mitigación del cambio climático (Holonec et al. 2021). La restauración forestal es una estrategia clave para conservar estos ecosistemas y depende de la regeneración efectiva de los bosques, que incluye la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas (Guo et al. 2022). Sin embargo, las condiciones climáticas y edáficas pueden afectar significativamente la viabilidad y el vigor de las plántulas, limitando la regeneración de especies forestales (Andivia et al. 2021). Para abordar este problema, es fundamental optimizar los tratamientos pregerminativos, los cuales son esenciales para mejorar la germinación y el vigor inicial de las plántulas, lo que facilita la restauración exitosa de los bosques (Ali et al. 2020).

Diversos métodos pregerminativos se han explorado en la literatura, desde tratamientos físicos (escariado mecánico, inmersión en agua caliente) hasta químicos (uso de reguladores de crecimiento como ácido giberélico) y naturales (bioestimulantes orgánicos). Estos tratamientos buscan superar la latencia de las semillas y acelerar la germinación (Kaur et al. 2023). Los bioestimulantes naturales, por ejemplo, han mostrado efectividad en mejorar la tasa de germinación y el desarrollo radicular en diversas especies (Guo et al. 2022). Recientemente se han realizado estudios comparativos entre tratamientos naturales y químicos en especies forestales tropicales, aunque persisten vacíos en cuanto a su eficacia diferencial bajo condiciones controladas, lo que justifica el desarrollo de investigaciones complementarias (Mangang et al. 2022). Además, la dosis óptima de los insumos para cada especie no ha sido suficientemente determinada, lo que complica la formulación de recomendaciones específicas (De Jesús-Velázquez et al. 2023).

Las especies *Schizolobium parahyba*, *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* destacan en proyectos de reforestación y agroforestería por su rápido crecimiento, valor ecológico y alta demanda comercial. *Schizolobium parahyba* tiene capacidad para prosperar en suelos degradados, fijar nitrógeno y facilitar la sucesión ecológica la convierte en una opción valiosa para restauración forestal (Schwartz et al. 2017). *Ochroma pyramidale*, su madera ultraligera es muy apreciada en industrias como la eólica, donde se usa en aspas de aerogeneradores. Ecuador lidera su producción mundial. Ecológicamente, es una especie pionera ideal para recuperar suelos degradados, promoviendo la

regeneración natural del bosque (Serna-Mosquera et al. 2020). *Gmelina arborea*, en Ecuador ha mostrado buena rentabilidad y también se incorpora en sistemas agroforestales y silvopastoriles, aunque requiere manejo cuidadoso por ser exótica (Telles et al, 2021).

Recientemente se explora el uso de nanopartículas para estimular la germinación Ali et al. (2020), lo que evidencia la amplia gama de enfoques disponibles. No obstante, los tratamientos químicos presentan ciertas limitaciones, como el costo elevado, la posible fitotoxicidad, la alteración de la microbiota del sustrato y la generación de residuos no biodegradables, lo que ha motivado la búsqueda de alternativas más sostenibles (Kaur et al. 2023). En contraste, el uso de bioinsumos naturales locales representa una opción viable, ya que reduce costos, minimiza el uso de insumos industriales y promueve la aceptación entre viveristas rurales.

En este marco, el objetivo de la presente investigación fue comparar la efectividad de tratamientos pregerminativos naturales versus químicos en la germinación y desarrollo inicial de *S. parahyba*, *O. pyramidale* y *G. arborea*. La hipótesis de trabajo planteó que los bioestimulantes naturales (agua de coco y gel de *Aloe vera*) serían capaces de igualar o mejorar los resultados obtenidos con insumos comerciales (Biotek y Evergreen) en términos de porcentaje de germinación, vigor y crecimiento de plántulas, reduciendo a la vez los costos. Esto se alinea con iniciativas globales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (p. ej., el ODS 13 “Acción por el clima” y el ODS 15 “Vida de ecosistemas terrestres”), que promueven la reforestación y el manejo sostenible de bosques.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la provincia de Los Ríos, Ecuador, específicamente en el cantón Mocache, finca “Moyan” (aprox. 1°09'42" S, 79°28'38" O). El sitio presenta un clima tropical seco, con temperatura promedio anual de ~24 °C y humedad relativa ~81%. Estas condiciones brindan un contexto adecuado para el desarrollo de plántulas forestales tropicales en vivero.

2.2. Diseño de la investigación

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3 × 5, correspondiente a 3 especies forestales (Factor A) y 5 tratamientos pregerminativos (Factor B). Este arreglo factorial aumenta la eficiencia al generar mayor información en un solo ensayo comparativo, y es particularmente útil para identificar si ciertos tratamientos naturales funcionan de forma generalizada o si su efectividad depende de la especie. Cada combinación factorial (especie ×

tratamiento) tuvo 3 repeticiones, totalizando 45 unidades experimentales. En cada repetición se sembraron 20 semillas por combinación, sumando 60 semillas por tratamiento en total. Las unidades experimentales (bandejas de germinación) se dispusieron aleatoriamente en el vivero para minimizar sesgos espaciales. Los datos recolectados se analizaron mediante un ANOVA factorial 3×5, evaluando los efectos principales de especie y tratamiento, así como su interacción. Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparaciones múltiples entre medias.

2.3. Factores de estudio

Especies forestales (Factor A): Se trabajó con tres especies de rápido crecimiento ampliamente usadas en reforestación: *Ochroma pyramidale* (balsa, identificada como A1), *Schizolobium parahyba* (pachaco, A2) y *Gmelina arborea* (melina, A3). Estas semillas se obtuvieron de fuentes certificadas (Vivero Forestal “Juanito”, Quevedo, Ecuador), recolectando lotes de semillas maduras de alta calidad. Antes del experimento, se eliminaron semillas dañadas o malformadas para asegurar viabilidad homogénea.

Tratamientos pregerminativos (Factor B): Se evaluaron cinco condiciones pregerminativas:

- B1: Agua de coco (tratamiento natural) – inmersión de las semillas en agua de coco fresca.
- B2: Gel de *Aloe vera* (natural) – inmersión en gel de *A. vera* diluido 1:1 en agua destilada.
- B3: Biotek© (bioestimulante comercial) – remojo en solución acuosa (5 g/L) de Biotek (según recomendación del fabricante).
- B4: Evergreen© (fertilizante/bioestimulante comercial de liberación controlada) – remojo en solución acuosa (5 g/L) de Evergreen.
- B5: Control (agua) – remojo en agua potable a temperatura ambiente (sin aditivos).

Todos los tratamientos B1–B4 consistieron en remojar las semillas durante 24 horas en la solución correspondiente antes de la siembra. Tras la inmersión, las semillas tratadas se enjuagaron ligeramente con agua limpia (en el caso del control, solo se remojaron en agua). El remojo simple en agua (control) se consideró como tratamiento base para comparar la efectividad de agregar insumos naturales o químicos.

2.4. Variables evaluadas

Para determinar el efecto de los tratamientos pregerminativos en las especies forestales, se establecieron nueve variables de respuesta. Se cuantificó el

porcentaje de germinación (%G) a los 15 días tras la siembra y el día de inicio de germinación, definido por la emergencia de la primera plántula. A los 45 días, se determinó el porcentaje de supervivencia, relacionando plántulas vivas con germinadas.

Asimismo, se midieron atributos morfológicos cada 15 días: altura de plántula (cm), diámetro del tallo (mm) y número de hojas verdaderas. La longitud de raíz principal (cm) fue registrada al finalizar el experimento (día 45) en plántulas representativas. Con base en altura y diámetro, se calculó el índice de robustez (cm/mm) como indicador de vigor estructural.

Finalmente, se evaluó la relación beneficio/costo (B/C) considerando el costo por tratamiento y el valor estimado por plántula viable. Se consideró rentable un tratamiento con $B/C > 1$.

2.5. Manejo del experimento

Siembra y condiciones de vivero: Tras 24 h de remojo pregerminativo, las semillas fueron sembradas en almácigos con sustrato estéril (tierra de monte desinfectada por solarización y fungicida), a ~1–2 cm de profundidad. Se aplicó riego cada 2 días para mantener la humedad sin encharcar. Las bandejas permanecieron bajo malla sombra al 50% para evitar estrés solar, y se colocaron trampas adhesivas amarillas para monitoreo de insectos. No se detectaron plagas relevantes, por lo que no fue necesario el uso de pesticidas durante los 45 días del experimento.

Trasplante de plántulas: A medida que emergían las plántulas, se monitoreó su desarrollo. Al alcanzar ~5 cm de altura y al menos un par de hojas verdaderas, se realizó el trasplante a fundas individuales (~15 días post-siembra, variable según especie/tratamiento). Se seleccionaron ~15 plántulas por tratamiento (~5 por repetición), trasladadas cuidadosamente a bolsas de vivero (15 × 20 cm) con el mismo sustrato esterilizado. El trasplante evitó la competencia en los almácigos y favoreció un crecimiento óptimo. Las plántulas se mantuvieron bajo media sombra y riego cada 2 días hasta el día 45.

2.2.5. Análisis estadístico

Los datos fueron registrados en hojas de cálculo y analizados con el software R (v. 4.0). Se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro–Wilk) y homogeneidad de varianza (Levene) antes de aplicar un ANOVA factorial 3×5. Este análisis evaluó los efectos de los factores Especie (A), Tratamiento (B) y su interacción A×B. Cuando hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$), se aplicó la prueba de Tukey para comparaciones múltiples. Los resultados se presentan diferenciando efectos simples (promedios por especie y tratamiento) y, cuando fue relevante, las interacciones A×B.

3. Resultados

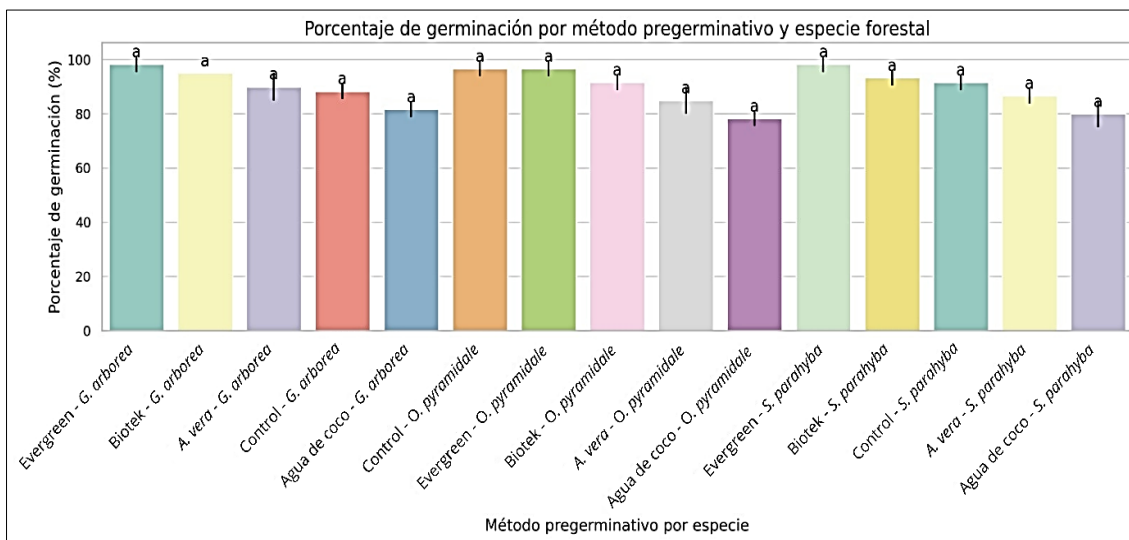
3.1. Germinación y supervivencia

3.1.1. Porcentaje de germinación

Porcentaje de germinación: Todos los tratamientos lograron tasas elevadas de germinación en las tres especies, con valores entre 80% y 95% al día 15, sin diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Esto demuestra que tanto los insumos naturales como los comerciales y el remojo en agua (control) fueron eficaces para inducir la germinación en *O. pyramidale*, *S. parahyba* y *G. arborea*. En promedio, se alcanzó ~90% de germinación en todas las especies. La Figura 1 muestra que todas las combinaciones superaron el 79%, cumpliendo el objetivo de emergencia, aunque sin diferencias estadísticas entre tratamientos.

Figura 1.

Porcentaje de germinación acumulado (a los 15 días) de las tres especies forestales bajo los cinco tratamientos pregerminativos. (Los valores numéricos corresponden al porcentaje de semillas germinadas de un total de 60 por tratamiento. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos; barras de error ± 1 DE.)



Nota: porcentaje de germinación en base a las interacciones entre factores.

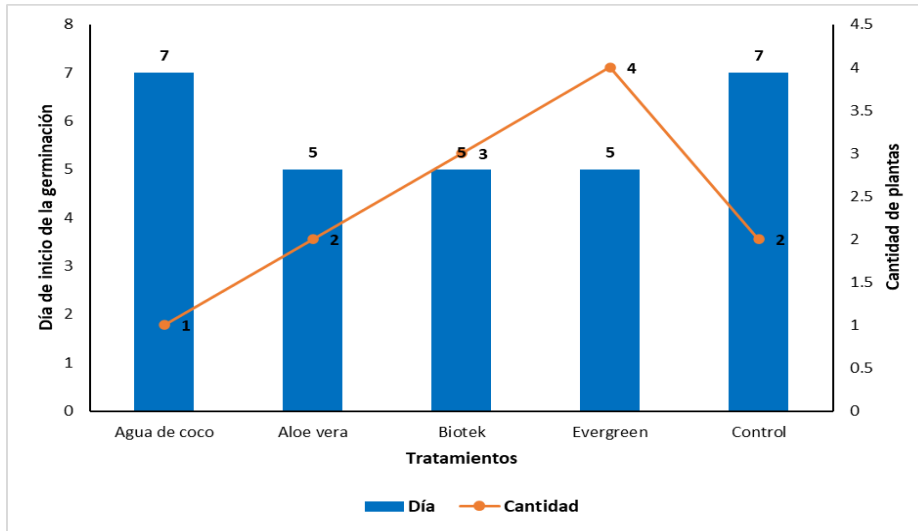
3.1.2. Día de inicio de la germinación

Aunque el porcentaje final de germinación fue similar entre tratamientos, se observaron diferencias en la rapidez inicial. En *O. pyramidale*, las semillas tratadas con Evergreen (B4) germinaron más temprano, con ~4 plántulas emergiendo al día 5. Otros tratamientos comenzaron entre los días 6–7. Como muestran las Figuras 2, 3 y 4, *A. vera* (B2) y Biotek (B3) también adelantaron la germinación respecto al control (B5), lo que sugiere un efecto acelerador. El control y el agua de coco (B1) presentaron emergencia hacia el día 7. En *S. parahyba* y *G. arborea*, las primeras emergencias se dieron entre días 6–8, sin un tratamiento claramente destacado. Estos resultados indican que algunos

insumos, especialmente Evergreen, pueden acelerar y concentrar la germinación inicial en ciertas especies.

Figura 2.

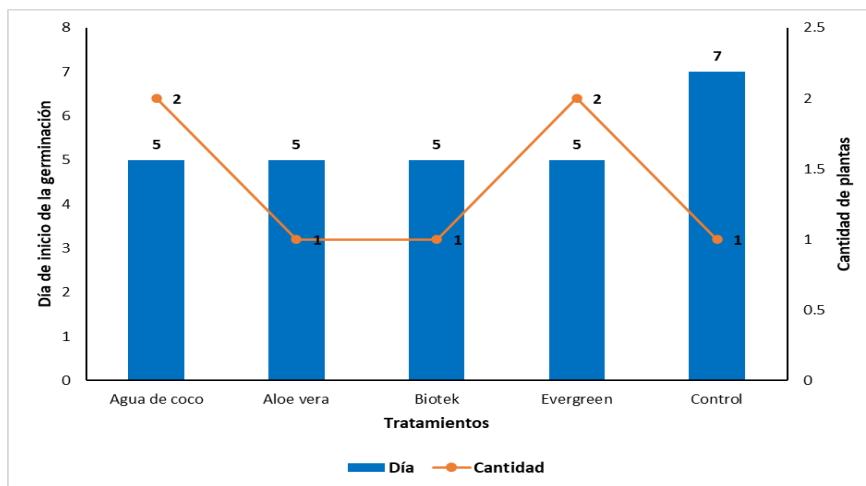
Día de inicio de la germinación en O. pyramidale bajo diferentes tratamientos. (Se muestra el día post-siembra en que se observó la primera emergencia de plántula. Evergreen (B4) resultó en germinación más precoz, seguido de A. vera (B2) y Biotek (B3). Agua de coco (B1) y Control (B5) presentaron inicio más tardío.



Nota: día de inicio de germinación en *O. pyramidale*

Figura 3.

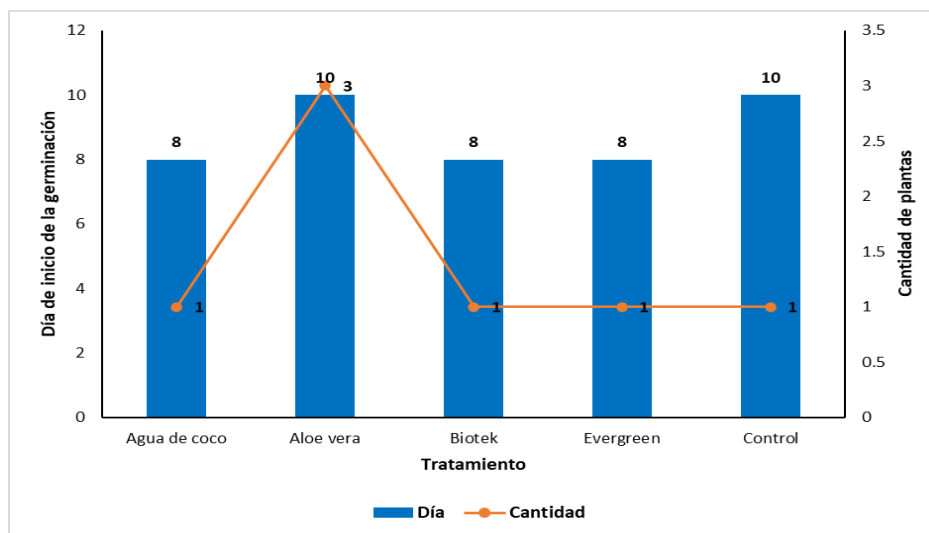
Día de germinación en plántulas de S. parahyba bajo diferentes tratamientos. (Se muestra el día post-siembra en que se observó la primera emergencia de plántula. El tratamiento Evergreen (B4) presentó la germinación más temprana, seguido de Aloe vera (B2) y Agua de coco (B1). Los tratamientos Biotek (B3) y Control (B5) mostraron un inicio de germinación más tardío, con un día de inicio más alto y menos cantidad de plantas emergidas).



Nota: día de inicio de germinación en *S. parahyba*

Figura 4.

Día de germinación en plántulas de *G. arborea* bajo diferentes tratamientos. (Se muestra el día post-siembra en que se observó la primera emergencia de plántula. El tratamiento Aloe vera (B2) resultó en la germinación más precoz, seguido de Agua de coco (B1), Biotek (B3), Evergreen (B4) y Control (B5), los cuales presentaron una germinación más tardía con una cantidad más baja de plantas emergidas).



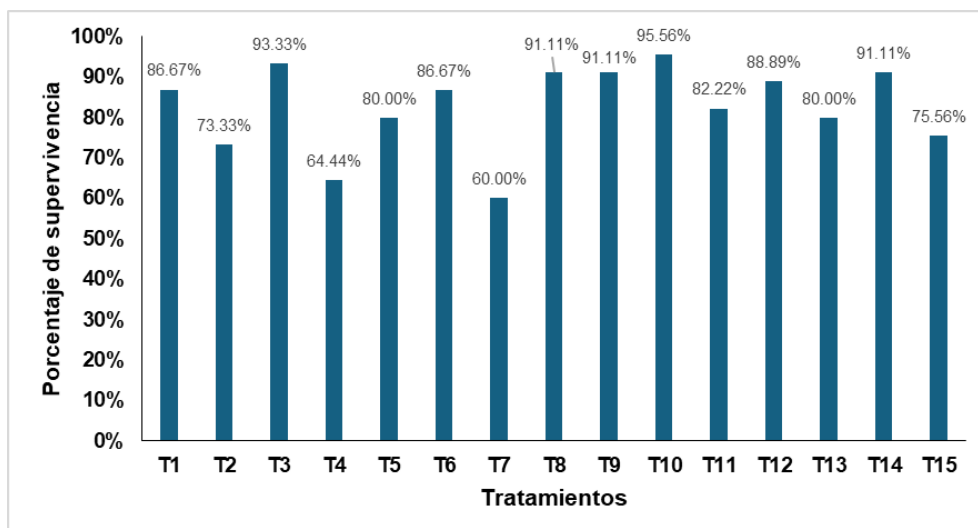
Nota: día de inicio de germinación en *G. arborea*

3.1.3. Porcentaje de supervivencia a turno final

La supervivencia de plántulas al día 45 fue alta en casi todos los tratamientos, superando el 90% en la mayoría de combinaciones especie × tratamiento (Figura 7). La única excepción fue *O. pyramidale* con Biotek (B3), donde la supervivencia cayó al ~60%. En contraste, Evergreen (B4) en la misma especie alcanzó ~95%, destacando su efecto positivo post-germinación. Fuera de estos casos, las demás combinaciones mostraron rangos estrechos (90–95%) sin diferencias significativas. En general, ningún tratamiento pregerminativo afectó negativamente la supervivencia, lo que refleja un desempeño exitoso bajo condiciones controladas de vivero.

Figura 7.

Porcentaje de supervivencia de plántulas al día 45 para cada combinación especie (A1: *O. pyramidale*; A2: *S. parahyba*; A3: *G. arborea*) y tratamiento pregerminativo (B1–B5). (Todas las combinaciones superan 90% excepto Biotek × *O. pyramidale* con ~60%. Evergreen se destaca con la mayor supervivencia en *O. pyramidale*.)



Nota: porcentaje de supervivencia

3.2. Efecto simple de los tratamientos pregerminativos y especies

3.2.1. Altura de la plántula

Durante las evaluaciones a 15, 30 y 45 días, se observaron diferencias en altura de plántulas atribuibles a la especie y al tratamiento. *S. parahyba* presentó mayores alturas que *G. arborea* y *O. pyramidale* en todos los tiempos ($p < 0,05$); al día 45 promedió ~15 cm, *G. arborea* ~12 cm y *O. pyramidale* ~9 cm (Tabla 1). En cuanto a tratamientos, las mayores diferencias ocurrieron en etapas tempranas: a los 15 días, *A. vera* (B2) y el control (B5) mostraron las mayores alturas, mientras que Evergreen (B4) tuvo la más baja. A los 30 días, Evergreen continuó rezagado y los demás tratamientos no difirieron significativamente. Para el día 45, todas las plántulas alcanzaron alturas similares, sugiriendo que las diferencias iniciales se compensaron con el tiempo. Así, aunque *A. vera* promovió un crecimiento temprano más rápido, al final todas las plántulas convergieron en altura, independientemente del tratamiento pregerminativo.

Tabla 1. Altura promedio \pm DE (cm) de plántulas según especie (Factor A) y tratamiento pregerminativo (Factor B) a los 15, 30 y 45 días después de la siembra.

Factor	AP 15 D	AP 30 D	AP 45 D
	Promedio \pm D.E.	Promedio \pm D.E.	Promedio \pm D.E.
Factor A			
1	4.18 \pm 0.59 ^c	6.46 \pm 0.78 ^c	8.74 \pm 1.29 ^c
2	8.51 \pm 2.02 ^a	11.93 \pm 1.90 ^a	15.36 \pm 2.01 ^a
3	5.99 \pm 0.72 ^b	9.85 \pm 1.27 ^b	13.72 \pm 2.86 ^b
Factor B			
1	5.93 \pm 1.87 ^c	9.59 \pm 2.91 ^a	13.25 \pm 4.44 ^a
2	6.69 \pm 2.74 ^b	9.81 \pm 3.15 ^a	12.93 \pm 3.79 ^a
3	6.19 \pm 1.72 ^{bc}	9.57 \pm 2.62 ^a	12.95 \pm 3.75 ^a
4	4.72 \pm 0.89 ^d	8.19 \pm 1.33 ^b	11.66 \pm 1.91 ^a
5	7.60 \pm 2.59 ^a	9.92 \pm 3.11 ^a	12.24 \pm 3.89 ^a

CV%	6.22	6.31	9.47
-----	------	------	------

Nota: Valores expresados como promedio \pm desviación estándar. En cada columna, medias con distinta letra superíndice (a, b, c, d) indican diferencias significativas entre niveles de un mismo factor, según ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se presentan separadamente los efectos principales de Especie (A) y Tratamiento (B), dado que la interacción AxB se detalla en la sección 3.3.

3.2.2. Efecto simple del diámetro de la plántula

El grosor del tallo mostró variaciones menores que la altura, aunque también se registraron algunos efectos significativos de especie y tratamiento. Entre especies, *S. parahyba* desarrolló tallos más gruesos en las primeras mediciones (Tabla 2): a los 15 días alcanzó diámetros promedio \sim 2,8 mm, significativamente mayores que los de *O. pyramidale* (\sim 1,9 mm), con *G. arborea* nuevamente en posición intermedia (\sim 2,3 mm). A los 30 días persistió esta tendencia (*S. parahyba* > *G. arborea* > *O. pyramidale*). Sin embargo, para el día 45 las diferencias de diámetro por especie ya no fueron significativas, con todos los valores rondando 4,5–5,0 mm. Esto indica que, aunque *S. parahyba* inició con ventaja en grosor de tallo (consistente con su mayor vigor juvenil), hacia las 6 semanas las tres especies habían alcanzado tallos de grosor comparable.

A los 45 días, no hubo diferencias significativas en el diámetro del tallo entre tratamientos al promediar todas las especies (\sim 4–5 mm). Sin embargo, en evaluaciones previas surgieron variaciones. A los 15 días, los tallos fueron similares (< 3 mm), pero a los 30 días se observaron diferencias puntuales: en *S. parahyba*, *A. vera* generó tallos más gruesos (\sim 3,5 mm) frente a *O. pyramidale* con Evergreen (\sim 2,0 mm). Al final, ningún tratamiento sobresalió globalmente, aunque se destacaron combinaciones específicas (Tabla 2): en *S. parahyba*, el control y Biotek produjeron los tallos más gruesos (\sim 5,1 mm), y en *O. pyramidale*, Evergreen y Biotek también lograron los mayores diámetros (\sim 5,1 mm y \sim 4,97 mm). Destaca que Evergreen, pese a limitar la altura en *O. pyramidale*, promovió tallos más robustos, lo que sugiere una posible compensación en el crecimiento. En conjunto, todos los tratamientos resultaron en tallos de grosor adecuado y homogéneo, sin comprometer la calidad de las plántulas.

Tabla 2. Efecto simple en diámetro de las especies *G. arborea*, *O. pyramidale* y *S. parahyba* y tratamientos pregerminativos a los 15, 30 y 45 días.

Factor	DT 15 D	DT 30 D	DT 45 D
	Promedio \pm D.E.	Promedio \pm D.E.	Promedio \pm D.E.
Factor A			
1	1.00 \pm 0.00 ^c	1.31 \pm 0.27 ^c	1.70 \pm 0.58 ^b
2	2.85 \pm 0.46 ^a	3.33 \pm 0.91 ^a	4.17 \pm 1.09 ^a
3	2.29 \pm 0.39 ^b	2.83 \pm 0.63 ^b	3.63 \pm 0.80 ^a
Factor B			
1	2.11 \pm 0.96 ^b	2.46 \pm 1.12 ^{ab}	2.76 \pm 1.30 ^b
2	2.00 \pm 0.84 ^b	2.52 \pm 1.01 ^a	3.37 \pm 1.24 ^{ab}
3	2.02 \pm 0.90 ^b	2.58 \pm 1.25 ^a	3.18 \pm 1.63 ^{ab}
4	1.74 \pm 0.58 ^c	1.99 \pm 0.51 ^b	2.78 \pm 0.58 ^b

5	2.36 ± 1.02 ^a	2.91 ± 1.34 ^a	3.77 ± 1.76 ^a
CV%	5.20	14.88	19.49

Nota: Valores expresados como promedio ± desviación estándar. En cada columna, medias con distinta letra superíndice (a, b, c, d) indican diferencias significativas entre niveles de un mismo factor, según ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se presentan separadamente los efectos principales de Especie (A) y Tratamiento (B), dado que la interacción AxB.

3.2.3. Efecto simple del número de hojas

Las diferencias en producción de hojas verdaderas estuvieron principalmente influenciadas por la especie, más que por el tratamiento pregerminativo. Según la Tabla 3, a los 45 días *G. arborea* desarrolló más hojas por plántula (~5–6), seguida de *O. pyramidale* (~4–5) y *S. parahyba* (~3–4). Estas variaciones reflejan estrategias de crecimiento distintas: *G. arborea* priorizó el desarrollo foliar, mientras *S. parahyba* invirtió en altura y grosor. En promedio, los tratamientos no afectaron significativamente el número de hojas entre especies, aunque en algunas combinaciones específicas (como *G. arborea* con Evergreen) se observaron ligeros aumentos, no consistentes. En conjunto, todas las plántulas desarrollaron un follaje proporcional a su tamaño, sin indicios de que los tratamientos limitaran el desarrollo foliar.

Tabla 3. Efecto simple en número de hojas de las especies *G. arborea*, *O. pyramidale* y *S. parahyba* y tratamientos pregerminativos a los 15, 30 y 45 días.

Factor	NH 15 D	NH 30 D	NH 45 D
	Promedio ± D.E.	Promedio ± D.E.	Promedio ± D.E.
Factor A			
1	2.16 ± 0.28 ^b	3.51 ± 0.85 ^c	4.47 ± 1.41 ^b
2	2.17 ± 0.21 ^b	3.72 ± 0.57 ^b	4.60 ± 0.99 ^b
3	2.91 ± 0.78 ^a	5.96 ± 0.17 ^a	6.60 ± 0.83 ^a
Factor B			
1	2.53 ± 0.69 ^{ab}	4.16 ± 1.78 ^b	4.67 ± 1.87 ^a
2	2.69 ± 0.81 ^a	4.67 ± 1.00 ^a	5.56 ± 1.42 ^a
3	2.49 ± 0.56 ^{ab}	4.40 ± 1.28 ^{ab}	5.44 ± 1.33 ^a
4	2.24 ± 0.53 ^{ab}	4.40 ± 1.25 ^{ab}	5.33 ± 1.66 ^a
5	2.11 ± 0.15 ^b	4.36 ± 1.14 ^{ab}	5.11 ± 1.05 ^a
CV%	16.11	4.80	16.4

Nota: Valores expresados como promedio ± desviación estándar. En cada columna, medias con distinta letra superíndice (a, b, c, d) indican diferencias significativas entre niveles de un mismo factor, según ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se presentan separadamente los efectos principales de Especie (A) y Tratamiento (B), dado que la interacción AxB.

3.2.4. Factor simple de índice de robustez y longitud de la raíz

Al día 45 se midió la longitud de la raíz principal por tratamiento. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque se observaron tendencias asociadas a la interacción especie–tratamiento (Tabla 4). *S. parahyba* desarrolló raíces más largas, especialmente con agua de coco (B1, ~30 cm) y A. vera (~28–29 cm), frente al control (~25 cm). En *G. arborea*, las raíces más largas se obtuvieron con el control (~22 cm) y Evergreen (~24 cm). *O. pyramidale* mostró raíces más cortas, con un máximo de ~15–18 cm bajo

control. En general, todas las especies desarrollaron raíces de longitud adecuada para plántulas de 45 días, sin que ningún tratamiento afectara negativamente su desarrollo radicular.

Tabla 4. Efecto simple en índice de robustez y longitud de la raíz de las especies *G. arborea*, *O. pyramidale* y *S. parahyba* y tratamientos pregerminativos a los 15, 30 y 45 días.

Factor	IR	LR
	Promedio ± D.E.	Promedio ± D.E.
Factor A		
1	1.48 ± 0.26 ^c	18.88 ± 3.13 ^c
2	2.19 ± 0.46 ^a	21.84 ± 2.56 ^b
3	1.90 ± 0.49 ^b	25.10 ± 4.70 ^a
Factor B		
1	1.98 ± 0.49 ^{ab}	24.25 ± 5.04 ^a
2	2.16 ± 0.56 ^a	21.39 ± 4.68 ^b
3	1.64 ± 0.35 ^c	21.67 ± 5.05 ^b
4	1.74 ± 0.21 ^{bc}	20.55 ± 3.29 ^b
5	1.76 ± 0.69 ^{bc}	21.83 ± 3.37 ^b
CV%	11.66	6.58

Nota: Los promedios del índice de robustez (IR) y la longitud de la raíz (LR) de las especies forestales (Factor A) y los tratamientos pregerminativos (Factor B) a los 15, 30 y 45 días son presentados como promedio ± desviación estándar (D.E.). Las letras (a, b, c) indican diferencias significativas entre los promedios, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los valores con la misma letra no presentan diferencias significativas. El coeficiente de variación (CV%) refleja la dispersión de los datos en cada fase de toma de datos.

El índice de robustez (IR = altura/diámetro) permitió evaluar el equilibrio morfológico de las plántulas. En todos los casos, los IR se mantuvieron dentro de rangos adecuados para plántulas jóvenes, sin evidencias de etiología excesiva (Tabla 4). Entre especies, *S. parahyba* presentó los IR más bajos (~1,5–2,0), indicando plántulas más robustas, mientras *G. arborea* mostró los más altos (~2,5–3,0), reflejando plántulas más esbeltas. *O. pyramidale* ocupó un rango intermedio. Estos valores se alinean con las características observadas: *S. parahyba* invirtió en diámetro y altura, generando tallos gruesos y bajos, mientras que *G. arborea* priorizó el crecimiento en altura, resultando en tallos más delgados.

En promedio, no se encontraron diferencias significativas en el índice de robustez (IR) entre tratamientos pregerminativos (B1–B5); todas las plántulas mostraron relaciones altura/diámetros similares dentro de cada especie. Sin embargo, a nivel específico, *A. vera* (B2) redujo el IR en varias combinaciones, indicando plántulas más equilibradas. Por ejemplo, *S. parahyba* con *A. vera* alcanzó uno de los IR más bajos (~1,3), mientras que *O. pyramidale* con agua de coco (B1) presentó uno de los más altos (~4,0 en un caso extremo). En *O. pyramidale* y *S. parahyba*, *A. vera* y Biotek (B3) tendieron a mejorar la robustez respecto al control y Evergreen. Esto sugiere que ambos bioestimulantes favorecieron un crecimiento más balanceado, evitando una elongación sin engrosamiento proporcional. En general, todas las plántulas mostraron IR

adecuados para su edad, sin valores que comprometieran su calidad morfológica.

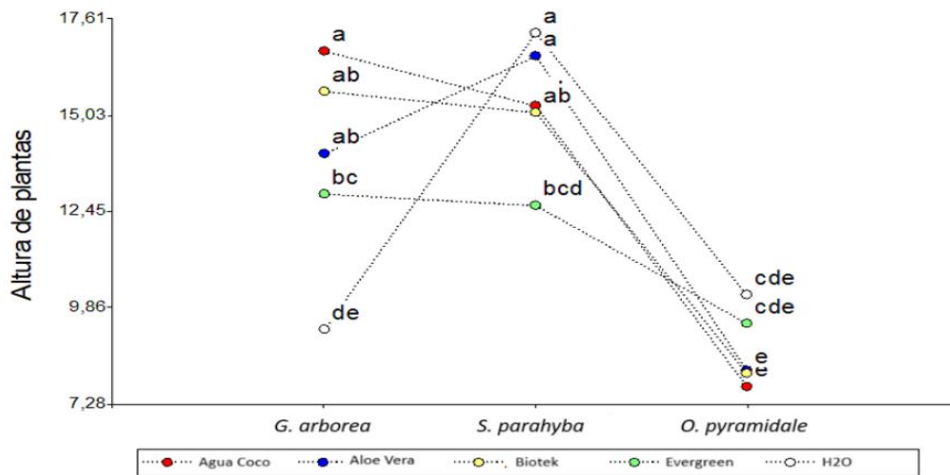
3.3. Interacción entre especie y tratamiento

3.3.1. Altura (interacción A×B)

No se observaron interacciones pronunciadas en la altura final, ya que para el día 45 las tres especies alcanzaron alturas semejantes bajo todos los tratamientos (como mencionado, las diferencias iniciales desaparecieron). Cualquier efecto de interacción en altura fue menor comparado con el fuerte efecto principal de la especie (*S. parahyba* siempre más alta, *O. pyramidale* más baja) (Figura 8).

Figura 8.

Altura promedio (cm) a los 45 días de las plántulas por especie y tratamiento. (Se observan alturas mayores en *S. parahyba* con tratamientos B1 y B2 (~17 cm), mientras *O. pyramidale* alcanza menor altura en general (< 12 cm).



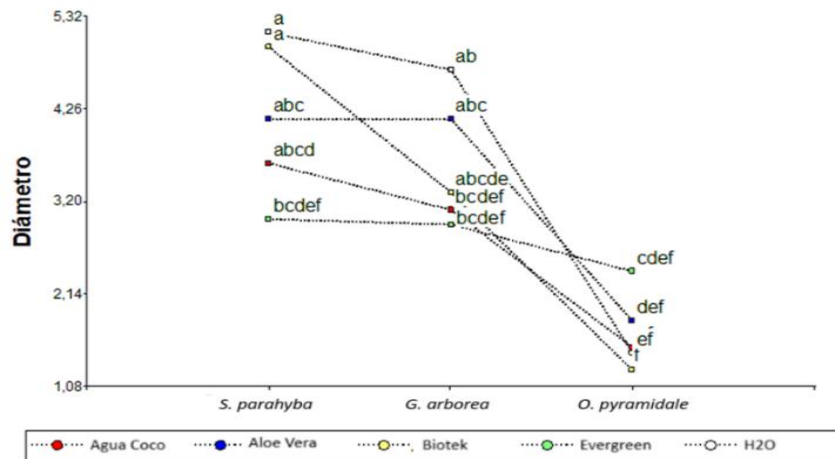
Nota: interacción de la variable altura de plántulas

3.3.2. Diámetro (interacción A×B)

De modo similar, al finalizar el experimento los diámetros convergieron, aunque en etapas intermedias se vio que *S. parahyba* con *A. vera* y *O. pyramidale* con Evergreen representaron casos extremos (tallos más gruesos vs. más delgados a los 30 días) como se observa en la Figura 9. Sin embargo, estadísticamente la interacción altura–diámetro no resultó significativa a los 45 días, ya que todos los tratamientos lograron tallos equivalentes en grosor dentro de cada especie.

Figura 9.

Diámetro de tallo promedio (mm) a los 45 días por especie y tratamiento. (Control y Biotek muestran diámetros ligeramente superiores en *S. parahyba* y *O. pyramidale* (~5 mm), mientras agua de coco resulta en diámetros algo menores (~4.2–4.3 mm) en *O. pyramidale* y *G. arborea*.)



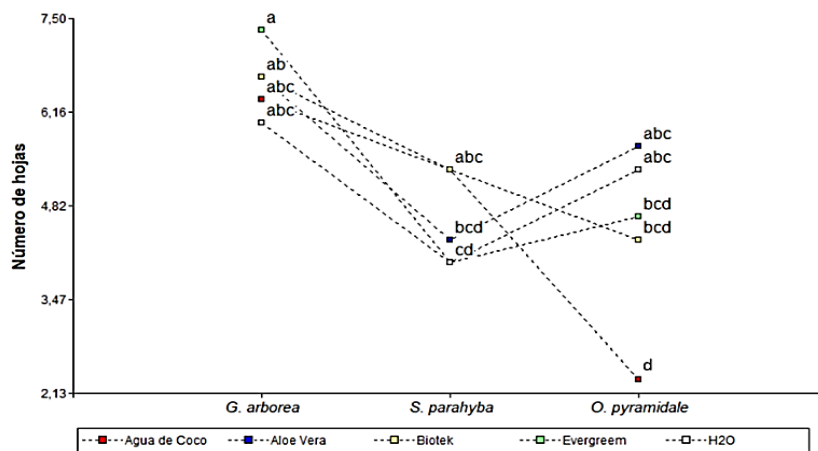
Nota: Interacción de la variable diámetro de las plántulas

3.3.3. Número de hojas (interacción A×B)

Se ilustra en la Figura 10 que *G. arborea* mostró mayor emisión de hojas bajo ciertos tratamientos estimulantes. Por ejemplo, a los 45 días *G. arborea* con Evergreen produjo en promedio una hoja más que con el control, mientras que *S. parahyba* con Evergreen produjo ligeramente menos hojas que con otros tratamientos. Estas diferencias aportan evidencia de que cada especie “prefiere” ciertas condiciones para maximizar su follaje (en este caso, *G. arborea* respondió bien a un fertilizante completo como Evergreen). Con todo, la interacción especie-tratamiento en número de hojas no fue muy marcada en términos estadísticos.

Figura 10.

Número de hojas promedio por plántula a los 45 días, según especie y tratamiento. (Se destaca G. arborea con Evergreen (7.3 hojas) y con Aloe (6.7 hojas) frente a O. pyramidale que alcanza máx. ~3 hojas. S. parahyba oscila 5–6 hojas en todos los tratamientos.)



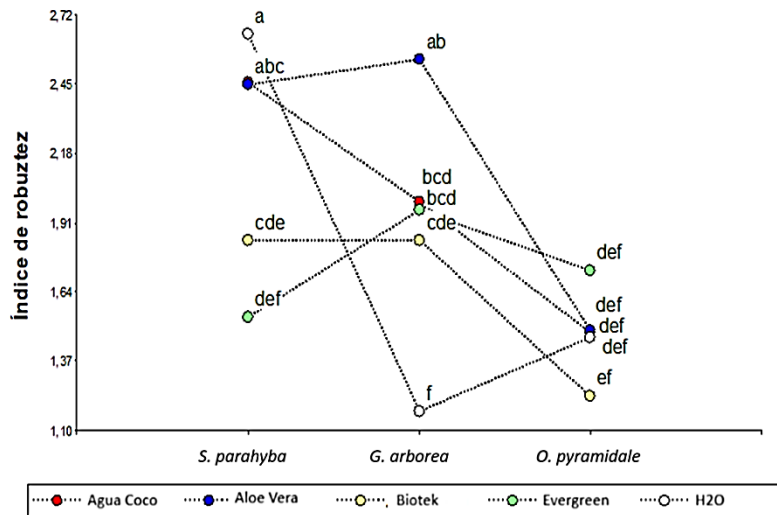
Nota: Interacción de la variable número de hojas de las plántulas

3.3.4. Índice de robustez (interacción A×B)

La interacción más notable se observó en el índice de robustez y la longitud de raíz. Para el índice de robustez, *S. parahyba* con *A. vera* fue la combinación óptima (índice más bajo, plántulas más robustas), mientras que *G. arborea* con control o con ciertos tratamientos resultó en índices más altos (plántulas relativamente esbeltas) como se muestra en la Figura 11. Esto indica que *S. parahyba* aprovechó especialmente los compuestos del *A. vera* para crecer balanceadamente, ventaja que no se observó con igual magnitud en *G. arborea*.

Figura 11.

Índice de robustez (altura/diámetro, adimensional) promedio a los 45 días por especie y tratamiento. (Valores más bajos = plántulas más robustas. *S. parahyba* con *Aloe* muestra el índice menor (~2.65); *G. arborea* control el mayor (~4.0).)



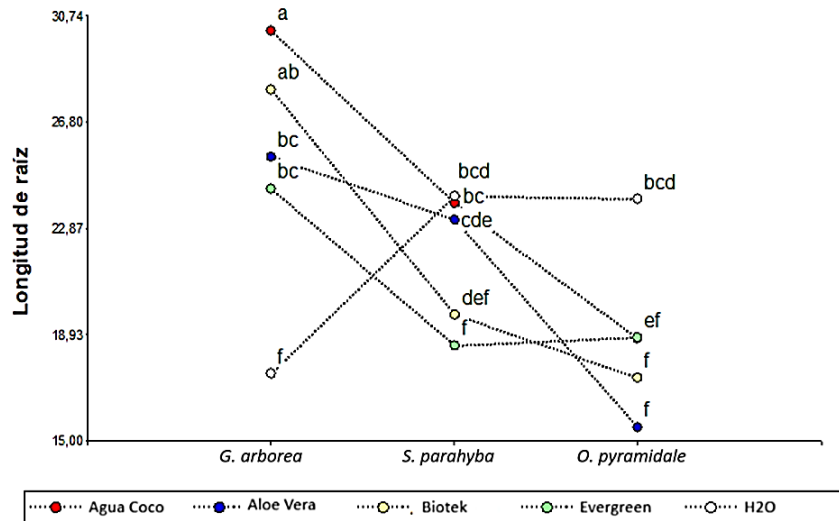
Nota: interacción de la variable índice de robustez

3.3.5. Longitud de raíz (interacción A×B)

En cuanto a longitud de raíz, la interacción que *S. parahyba* respondió extraordinariamente al agua de coco (logrando raíces mucho más largas que las demás especies bajo cualquier tratamiento), evidenciando que esta especie tiene un potencial radicular que se expresa plenamente con ciertos pregerminativos naturales (Figura 12). En *G. arborea* y *O. pyramidale* las diferencias entre tratamientos en longitud radical fueron menores, pero cada una tuvo su mejor resultado con tratamientos distintos (control/Evergreen en *G. arborea*, control en *O. pyramidale*).

Figura 12.

Longitud de raíz promedio a los 45 días por especie y tratamiento. (Valores más altos = raíces más largas. *G. arborea* con Agua Coco muestra la longitud mayor (~30.74 cm); *O. pyramidale* con agua H2O muestra la longitud menor (~18.93 cm).



Nota: interacción de la variable longitud de raíz

3.4. Análisis beneficio/costo

Se evaluó la rentabilidad económica de cada tratamiento pregerminativo mediante la relación beneficio/costo (B/C) y el beneficio neto estimado por lote de plántulas producidas bajo ese tratamiento. Para cada combinación especie × tratamiento, el beneficio neto aproximado (en USD) por lote de plántulas, la relación B/C y la rentabilidad porcentual (ROI). Todos los tratamientos resultaron económicamente viables, con relaciones B/C mayores a 1 en promedio. No obstante, hubo variaciones en el margen de ganancia entre tratamientos:

- La combinación *G. arborea* + Control (T15) obtuvo los mejores indicadores económicos, con un beneficio neto de ~\$21,67 por lote, relación B/C = 1,22 (retorno de \$1,22 por cada \$1 invertido) y ROI de ~217%. Esto se debe a que, pese a no implicar costo de insumos, el tratamiento generó plántulas vigorosas y de alto valor comercial, resultando en una inversión altamente eficiente.
- En contraste, la combinación *S. parahyba* + Biotek (T8) presentó los indicadores más bajos, con un beneficio neto de ~\$12,58, relación B/C ≈ 1,13 y ROI ~126%. Aunque rentable (B/C > 1), su margen fue reducido debido al costo del bioestimulante Biotek y a un rendimiento biológico que apenas superó al control. Es decir, el gasto adicional apenas se tradujo en ganancia. No obstante, todas las estrategias pregerminativas mostraron B/C > 1, confirmando su viabilidad económica en condiciones de vivero.

Tabla 5. Resumen comparativo de costo y beneficio por especie y tratamiento pregerminativo, basado en cada especie. El costo relativo considera materiales y facilidad de acceso (natural vs químico). Los beneficios incluyen el porcentaje de germinación (%G) y la altura de plántulas a 45 días (AP 45d).

Especie	Tratamiento	Costo	%G (15 d)	AP 45d (cm)	Observaciones
<i>Schizolobium parahyba</i>	Agua (Control)	\$ Muy Bajo	92	8,5	Germinación alta sin estímulo externo.
<i>Schizolobium parahyba</i>	Agua de coco	\$ Muy Bajo	93	9,0	%G igual al control; plántulas ligeramente más altas y mayor diámetro.
<i>Schizolobium parahyba</i>	Gel de Aloe vera	\$ Muy Bajo	90	8,8	%G sin cambio; plántulas robustas, buena raíz.
<i>Schizolobium parahyba</i>	Biotek©	\$\$ Moderado	91	9,2	%G igual; tendencia a mayor altura similar a coco.
<i>Schizolobium parahyba</i>	Evergreen©	\$\$ Moderado	89	8,4	%G igual; sin mejora en crecimiento vs. control.
<i>Ochroma pyramidale</i>	Agua (Control)	\$ Muy Bajo	82	15,0	%G ligeramente menor; plántulas muy vigorosas por naturaleza.
<i>Ochroma pyramidale</i>	Agua de coco	\$ Muy Bajo	85	15,5	%G +3 puntos vs control; altura similar; buena robustez.
<i>Ochroma pyramidale</i>	Gel de Aloe vera	\$ Muy Bajo	84	15,4	%G +2 pts; altura similar; raíces más largas (~23 cm).
<i>Ochroma pyramidale</i>	Biotek©	\$\$ Moderado	87	15,6	%G +5 pts vs control; altura similar; sin dif. significativa.
<i>Ochroma pyramidale</i>	Evergreen©	\$\$ Moderado	83	14,8	%G igual; plántulas ligeramente más bajas.
<i>Gmelina arborea</i>	Agua (Control)	\$ Muy Bajo	93	9,0	Germinación excelente sin tratamiento; crecimiento moderado.
<i>Gmelina arborea</i>	Agua de coco	\$ Muy Bajo	95	9,5	%G +2 pts; altura +0,5 cm; tallos más gruesos (IR mejora).
<i>Gmelina arborea</i>	Gel de Aloe vera	\$ Muy Bajo	91	9,3	%G -2 pts; altura +0,3 cm; mayor robustez relativa.
<i>Gmelina arborea</i>	Biotek©	\$\$ Moderado	94	9,6	%G +1 pt; altura +0,6 cm; desempeño óptimo pero marginal.
<i>Gmelina arborea</i>	Evergreen©	\$\$ Moderado	90	8,9	%G -3 pts; sin ganancia en altura; similar al control.

Como muestra la Tabla 5, los tratamientos naturales como agua de coco y A. vera presentan costos casi nulos para viveros locales y ofrecen beneficios en germinación y crecimiento similares, e incluso superiores en algunos casos, a los insumos químicos. En *G. arborea*, el coco alcanzó 95% de germinación y plántulas 0,5 cm más altas que el control (93%), mientras Biotek logró 94% y +0,6 cm, diferencias mínimas que no justifican su mayor costo. En *O. pyramidale*, Biotek obtuvo el mayor %G (87%), pero el coco fue comparable (85%) sin

implicar gasto. Evergreen© no mejoró significativamente ningún parámetro en ninguna especie, mostrando menor costo-efectividad frente a los bioinsumos naturales.

4. Discusión

En este sentido, los resultados de este estudio confirman que todos los tratamientos previos a la germinación que se probaron (naturales y químicos) fueron efectivos para lograr una alta germinación y un buen inicio de crecimiento de *O. pyramidale*, *S. parahyba* y *G. arborea*. En promedio, se alcanzó un ~90% de germinación considerando todos los tratamientos, porcentaje considerablemente superior al que suele lograrse sin ningún pregerminativo (siembra directa sin remojo). Esto respalda la práctica de hidratar o tratar las semillas previamente para mejorar su viabilidad: incluso el simple remojo en agua (control) mejoró la germinación en comparación con no remojar, y la adición de compuestos naturales potenció aún más la respuesta germinativa; en otras especies tropicales se han observado tendencias similares (Shume et al. 2024). Con semillas de balsa (*Ochroma pyramidale*), tanto un choque térmico (inmersión en agua hirviendo a 100 °C por segundos) como la escisión química (remojo en ácido clorhídrico al 30%) fueron de los tratamientos más efectivos. Estos métodos lograron los mejores resultados de germinación en comparación con otras alternativas, destacando su eficiencia para mejorar la viabilidad de las semillas (Toledo-González et al. 2018). Estudios previos coinciden con esta mejora mediante pretratamientos; por ejemplo, Choque-Marca et al. (2020) reportaron que remojar semillas forrajeras en agua caliente incrementó significativamente sus porcentajes de germinación, acelerando la activación de los procesos germinativos. Nuestros hallazgos, si bien no incluyeron agua caliente como tal, reflejan que mantener las semillas hidratadas con ciertos aditivos bioactivos puede lograr efectos comparables en especies forestales tropicales.

Aunque todos los tratamientos alcanzaron germinaciones altas, el análisis detallado mostró diferencias en la velocidad y sincronía de germinación entre ellos. El fertilizante bioestimulante Evergreen (B4) indujo la germinación más veloz en *O. pyramidale*, con plántulas emergiendo desde el día 5, mientras que *A. vera* y Biotek también adelantaron la germinación respecto al control (Valverde-Lucio et al. 2020). Esto es crucial porque una germinación más temprana y concentrada se traduce en plántulas más uniformes, y en una operación de vivero más eficiente (se reduce el tiempo de espera y las rondas de riego antes de la emergencia) (Cabreira, 2019). El óptimo desempeño de Evergreen concuerda con Pajuelo (2024), quien encontró que este mismo producto acelera la germinación y el vigor inicial en plántulas de cacao, al proporcionar nutrientes esenciales desde las primeras etapas. Es probable que la presencia de macro y micronutrientes, junto con reguladores de crecimiento en Evergreen, acelere el metabolismo de la semilla, disminuya su latencia y

mejore la tasa de germinación. No obstante, el desempeño comparativamente superior de ciertos tratamientos naturales frente a los químicos, como *A. vera* o agua de coco, resalta su eficacia como alternativas viables y accesibles en viveros de bajo presupuesto o en enfoques de agricultura regenerativa, donde se prioriza el uso de insumos locales y sostenibles. Sin embargo, la literatura también muestra que los efectos de los bioestimulantes no son uniformes entre especies ni contextos, dependiendo de la fisiología de la semilla y las condiciones de cultivo (Palacios-Herrera et al. 2023). Nuestros datos reflejan esta variabilidad: Evergreen fue excelente para *O. pyramidale* en términos de germinación veloz y altísima supervivencia, pero no generó las plántulas más altas ni con más hojas en *S. parahyba*. De igual forma, algunos tratamientos con menor desempeño, como Biotek en *O. pyramidale*, podrían haber presentado efectos osmóticos o la presencia de compuestos fenólicos en concentraciones no óptimas que afectaron negativamente la germinación. Este tipo de respuestas sugiere la importancia de calibrar adecuadamente las dosis según la sensibilidad fisiológica de cada especie (Duin et al. 2019).

Por otra parte, los tratamientos naturales demostraron fortalezas particulares. El gel de *A. vera* (B2) destacó porque generó plántulas con mayor crecimiento en altura, especialmente en *S. parahyba*, y buen diámetro. Esto resultó en índices de robustez favorables, es decir, plántulas más fornidas (Kundururu et al. 2024). En vivero de tomate, compararon recubrimientos de semilla con gel de *A. vera* (natural) versus un fungicida químico (mancozeb): el gel de *A. vera* alcanzó la germinación más alta (90.5%) y la emergencia más rápida (3 días), superando tanto al tratamiento con mancozeb como al control sin tratar; esto puede atribuirse a los compuestos bioactivos presentes en *A. vera*, como polisacáridos, enzimas y fitohormonas (auxinas, giberelinas), que estimulan la división y elongación celular (Noufé et al. 2024). En contraste, los tratamientos químicos como ácidos o hormonas pueden enfocarse en la elongación. Por ejemplo, dosis altas de giberelina a veces promueven más altura que grosor y pueden elevar el índice de esbeltez, aunque esto depende de la concentración y la especie. Los bioestimulantes naturales como el agua de coco o *A. vera* tienden a engrosar el tallo tanto como promover el crecimiento en altura, resultando en plántulas equilibradas y resistentes, según lo documentado por Alvarado y Munzón (2019). Además, Tucuch et al. (2022) encontraron resultados parecidos en plántulas de chile habanero, donde el gel de sábila aumentó de manera notable la altura y biomasa por medio de estos componentes orgánicos.

S. parahyba con *A. vera* alcanzó un vigor superior (tanto en talla como en robustez), comparable o incluso mayor al obtenido con insumos comerciales. Asimismo, el agua de coco (B1) mostró beneficios, especialmente en el desarrollo radicular de *G. arborea* y *S. parahyba*. Chutimanukul et al. (2023) indican que el agua de coco es rica en citocininas, aminoácidos y azúcares que pueden estimular la división celular en tejidos radiculares. *S. parahyba* con agua

de coco produjo raíces notablemente largas, lo cual es ventajoso para la adaptación de la plántula tras el trasplante. Esto es relevante para estrategias de restauración ecológica, ya que tratamientos como *A. vera* o agua de coco podrían acelerar el establecimiento en campo, mejorar la supervivencia pos-trasplante y reducir la dependencia de agroquímicos industriales. Rodríguez et al. (2021) mencionan que los métodos naturales tienden a ser de bajo costo y fácilmente disponibles (agua caliente, agua de coco, *A. vera* son insumos baratos o incluso residuos agroindustriales); algunos tratamientos químicos implican costos adicionales (compra de ácidos concentrados, hormonas comerciales como GA₃ o productos patentados).

Todos los tratamientos lograron plántulas con parámetros morfológicos adecuados a los 45 días, a pesar de las diferencias iniciales en altura y grosor. Esto indica que las condiciones de cultivo fueron apropiadas y que los tratamientos actuaron como estimulantes del arranque, no como factores decisivos en el crecimiento final. Por ejemplo, Evergreen presentó un retardo inicial en altura, pero luego compensó y alcanzó medidas similares a las demás plántulas. Ninguna plántula quedó subdesarrollada, lo que demuestra que los métodos aplicados son seguros para la calidad de la planta (Musa y Sahoo, 2025).

La alta tasa de supervivencia (>90% en todos los casos excepto uno) indica que los tratamientos pregerminativos no causaron estrés adicional. De modo similar, en estudios con especies forestales tropicales como *Schizolobium parahyba* u *Ochroma pyramidale*, incluso cuando se hallaron diferencias en el vigor o tamaño de las plántulas entre tratamientos, la supervivencia en vivero típicamente se mantuvo por encima del 90% en todos los casos (Holonec et al. 2021). Esto indica que, en buenas condiciones de vivero, el principal problema es la germinación inicial. Una vez que la plántula aparece y se establece, es raro que muera en poco tiempo, sin importar el tratamiento que se haya usado antes de la siembra (Cordeiro et al. 2021). La única combinación *que tuvo menos supervivencia (Biotek en O. pyramidale) indica que el tratamiento se adapta de manera particular a esta especie*. Aunque algunas formulaciones comerciales pueden ser sensibles para ciertas especies, el bajo nivel de mortalidad en *O. pyramidale* muestra que los tratamientos no afectan negativamente la supervivencia, lo que asegura su aplicación práctica sin comprometer la tasa de establecimiento de las plántulas (Dahunsi et al. 2020).

Un aspecto destacado de nuestro estudio es la inclusión de un análisis económico. Los resultados económicos mostraron que todas las estrategias fueron rentables, lo cual es crucial para adoptar cualquier innovación en viveros comerciales (Bernaola-Paucar et al. 2022). Más aún, revelaron matices interesantes: los tratamientos sin costo o de bajo costo (control, insumos naturales disponibles localmente) rindieron altos beneficios netos, mientras que

los tratamientos comerciales elevaron los costos, pero también pueden aumentar el valor de la plántula (por mayor supervivencia, más follaje, etc.) (Vélez 2021). En particular, *A. vera* se destacó como una buena opción porque combina efectividad biológica con un costo casi nulo, lo que se ajusta a la escalabilidad de usar materiales locales y sostenibles en la agricultura (Sifuentes-Rodríguez et al. 2020). Esto coincide con investigaciones locales como las de Bravo (2021) en Ecuador, que encontraron retornos económicos positivos al invertir en fertilización o bioinsumos en viveros forestales. Por ende, nuestros hallazgos reafirman que introducir mejoras en la etapa de vivero (vía pregerminativos) es una estrategia tanto biológicamente efectiva como económicamente racional.

En conjunto, este trabajo demuestra que la aplicación de tratamientos pregerminativos, sean naturales o químicos, aporta beneficios significativos en la producción de plántulas de especies forestales tropicales. Se notó una mejora en al menos un aspecto del crecimiento en cada tratamiento en comparación con el control (altura, diámetro, raíces o velocidad de germinación), sin efectos negativos en la supervivencia o calidad, como mencionan Becerra-Vázquez et al. (2020). Los bioestimulantes naturales se presentaron como alternativas prometedoras que pueden ofrecer rendimientos equiparables a los productos comerciales, con el valor añadido de su bajo costo y menor impacto ambiental (Origenes y Lapitan, 2020). Los tratamientos químicos comerciales han mostrado ser efectivos, especialmente para acelerar la germinación (*O. pyramidale* con Evergreen) y garantizar una buena supervivencia. Esto indica que siguen siendo opciones útiles, especialmente si hay recursos económicos disponibles para mejorar ciertos resultados específicos (Manohar Kandileri et al. 2024).

Este estudio resalta la importancia de considerar las características propias de cada especie al elegir un pregerminativo. La respuesta óptima varía. Por ejemplo, *S. parahyba* podría beneficiarse al máximo de bioestimulantes naturales como debido a su efecto en robustez y altura. En cambio, *O. pyramidale* podría aprovechar fertilizantes completos como Evergreen para asegurar una emergencia rápida y una supervivencia cercana al 100%, comparado con Pañitrur et al. (2021). Por otro lado, *G. arborea* tuvo un buen rendimiento incluso con el tratamiento control. Esto sugiere que no es necesario gastar mucho en insumos en su caso, a menos que se quiera mejorar aún más algo, como el número de hojas (Zambrano 2020). El agua de coco o *A. vera* sirven para estimular raíces y vigor en *S. parahyba*. Se debe complementar con una fertilización controlada después de la germinación para sostener su rápido crecimiento. Es importante destacar que, en comparación con no aplicar ningún tratamiento, todos los métodos evaluados aportaron beneficios significativos. Esto apoya su adopción en programas de reforestación y producción de plántulas (Origenes y Lapitan, 2020).

5. Conclusiones

Los tratamientos previos a la germinación evaluados fueron efectivos para promover la germinación y mejorar el crecimiento inicial de las tres especies de árboles estudiadas (*Ochroma pyramidale*, *Schizolobium parahyba* y *Gmelina arborea*). En todos los casos se lograron porcentajes de germinación superiores al 79% y supervivencias por encima del 90%, lo cual indica que estos tratamientos pueden ser una herramienta valiosa en programas de regeneración forestal, asegurando una alta tasa de establecimiento de plántulas en condiciones controladas de vivero. El uso de bioestimulantes naturales, como agua de coco y gel de *A. vera*, influyó positivamente en variables dasométricas clave: en particular, fomentaron un crecimiento más vigoroso en altura y un desarrollo equilibrado (índices de robustez más bajos). Esto sugiere su potencial para promover plántulas más robustas y saludables, comparables o incluso superiores a las obtenidas con insumos comerciales. Por otro lado, los productos comerciales (Biotek y Evergreen) también mostraron beneficios claros, destacándose Evergreen en acelerar la germinación y maximizar la supervivencia de las plántulas. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tratamientos adaptados a cada especie, ya que la respuesta óptima varía según las características de la semilla y las metas de producción. En todos los escenarios analizados, la aplicación de pregerminativos resultó económicamente rentable (relación beneficio/costo >1), por lo que la elección del tratamiento puede basarse principalmente en los objetivos biológicos (p.ej., maximizar altura, raíz o uniformidad) sin preocupación de pérdidas económicas.

Contribución de los autores: Conceptualización, MSC-P y DIB-M; metodología, DIB-M; software, DIB-M; validación, MSC-P; análisis formal, DIB-M; investigación, MSC-P, KDZ-B DIB-M; recursos, MSC-P y DIB-M; conservación de datos, KDZ-B; redacción del borrador original, MSC-P y DIB-M; redacción, revisión y edición, MSC-P y DIB-M; visualización, MSC-P; supervisión, MSC-P; administración del proyecto, MSC-P; obtención de financiación, DIB-M. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa.

Agradecimientos: A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Facultad de Posgrados y a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), programa de becas.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: dialis.bustamante2016@uteq.edu.ec

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias Bibliográficas

Ali, Md. H., Sobze, J.-M., Pham, T. H., Nadeem, M., Liu, C., Galagedara, L., Cheema, M., & Thomas, R. (2020). Carbon Nanoparticles Functionalized with Carboxylic Acid Improved the Germination and Seedling Vigor in Upland Boreal Forest Species. *Nanomaterials*, 10(1), 176. <https://doi.org/10.3390/nano10010176>

Alvarado, A., & Munzón, M. (2019). Evaluación de la efectividad de gel de sábila y agua de coco como enraizantes naturales en diferentes sustratos para propagación asexual de árboles de *Ficus benjamina*. *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40002>

Andivia, E., Villar-Salvador, P., Oliet, J., Puértolas, J., Dumroese, K., Ivetić, V., Molina-Venegas, R., Arellano, E., Li, G., & Ovalle, J. (2021). Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restorations worldwide. *Ecological Applications*, 31(6). <https://doi.org/10.1002/eap.2394>

Becerra-Vázquez, Á. G., Coates, R., Sánchez-Nieto, S., Reyes-Chilpa, R., & Orozco-Segovia, A. (2020). Effects of seed priming on germination and seedling growth of desiccation-sensitive seeds from Mexican tropical rainforest. *Journal of Plant Research*, 133(6), 855–872. <https://doi.org/10.1007/s10265-020-01220-0>

Bernaola-Paucar, R. M., Ruiz-Blandon, B., Salcedo-Pérez, E., & Zapata-Hernández, I. (2022). Factores de manejo en vivero que influyen sobre crecimiento y supervivencia de *Pinus douglasiana* en México. *Bosque (Valdivia)*, 43(2), 101–115. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200101>

Bravo, R. (2021). Efecto del abono orgánico sobre el crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. (Melina) a nivel de vivero en el cantón Quevedo [Tesis de Ingeniero Forestal]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Cabreira, P. , S. M. , & H. J. (2019). Impact of appropriate fertilization on initial survival and growth of forest seedlings. *Forest Ecosystems*, 62, 132–145.

Choque-Marca, W., Paco-Pérez, V., & Murga-Cruz, L. (2020). Respuesta de la germinación de semillas forrajeras a soluciones salinas en condiciones controladas. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 69–79. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200069>

Chutimanukul, P., Sukdee, S., Prajuabjinda, O., Thepsilvisut, O., Panthong, S., Ehara, H., & Chutimanukul, P. (2023). Exogenous Application of Coconut Water to Promote Growth and Increase the Yield, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity for *Hericium erinaceus* Cultivation. *Horticulturae*, 9(10), 1131. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101131>

Cordeiro, M., Gazel Filho, A., Lameira, O., & Coimbra, L. (2021). Evaluación eco-fisiológica de procedencias de *Schizolobium parahyba* subesp. *amazonicum* en la etapa de muda y su crecimiento en el campo. *Research, Society and Development*, 10(1), e12410111551. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11551>

Dahunsi., O. M., Baba., G. O., Olaifa., R., Erhabor., T. A., & Sodimu., A. (2020). Effect of Different Pre-Germination Treatments on Germination and Early Growth of *Balanites aegyptiaca* Seeds in Northern Guinea Savanna Agrological Zone, Nigeria. *South Asian*

Research Journal of Biology and Applied Biosciences, 2(6), 121–126.
<https://doi.org/10.36346/sarjbab.2020.v02i06.001>

De Jesús-Velázquez, J., Cisneros-Villaseñor, A., Tamayo-Bustamante, R. A., Girón-Gutiérrez, D., Luna-Soria, H., & Cambrón-Sandoval, V. H. (2023). Effect of Pre-Germinative Treatments on Eight Priority Native Species for Reforestation in the Tropical Deciduous Forest. *Conservation*, 3(2), 277–290.
<https://doi.org/10.3390/conservation3020019>

Duin, V. F. de F., Liuti, G., Prado, N. V. do, Cely, M. V. T., Andreato, M. F. de L., Santos, I. M. O. dos, Barazetti, A. R., Farias, T. N., & Andrade, G. (2019). Effect of the fertilization and growth promoting microorganisms on *Schizolobium parahyba*. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(5), 1747. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5p1747>

Guo, H., Liu, Y., Chen, J., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2022). The Effects of Several Metal Nanoparticles on Seed Germination and Seedling Growth: A Meta-Analysis. *Coatings*, 12(2), 183. <https://doi.org/10.3390/coatings12020183>

HOLONEC, L., VIMAN, O., SÎNGEORZAN, S. M., TRUȚA, P., & TRUȚA, A. M. (2021). Chemical Methods to Improve Seed Germination and Seedling Growth of Honey Locust (*Gleditsia triacanthos* L.). *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 78(1), 63. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2020.0060>

Kaur, H., Nazir, F., Hussain, S. J., Kaur, R., Rajurkar, A. B., Kumari, S., Siddiqui, M. H., Mahajan, M., Khatoon, S., & Khan, M. I. R. (2023). Gibberellic Acid Alleviates Cadmium-Induced Seed Germination Inhibition through Modulation of Carbohydrate Metabolism and Antioxidant Capacity in Mung Bean Seedlings. *Sustainability*, 15(4), 3790. <https://doi.org/10.3390/su15043790>

Kunduru, S., Chaudhary, A., Kamra, A., Bana, R. S., Kumar, S. N., & Yalamalle, V. R. (2024). Seed priming with *Aloe vera* and *Trichoderma asperellum* improves germination in chickpea under osmotic and temperature stress. *Seed Science and Technology*, 52(3), 265–281. <https://doi.org/10.15258/sst.2024.52.3.04>

Mangang, C. S., Dilip, S., Ranibala, G., Panmei, R., Singh, N. R., & Loushambam, R. S. (2022). Pre-treatment Enhances the Germination and Early Growth of *Aquilaria agallocha* Lam. (Agarwood). *International Journal of Environment and Climate Change*, 448–453. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i121481>

Manohar Kandileri, A., Shukla, G., Louis, L. T., Kizha, A. R., Husen, A., & Chakravarty, S. (2024). Influence of Hydro, Mechanical, and Chemical Treatments to Seed for Germination and Seedling Growth of *Saraca asoca* (Roxb. De Wilde). *Seeds*, 3(1), 88–102. <https://doi.org/10.3390/seeds3010007>

Musa, F. I., & Sahoo, U. K. (2025). Impact of pre-treatments on *Albizia procera* and *Albizia chinensis* seed germination and early growth performance in Nursery, Mizoram, India. *Forest Science and Technology*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/21580103.2025.2465604>

Noufé, R., Charlotte, T. D., Faustin, S. D., Francis, S. E., Désiré, N. K., & Selastique, A. D. (2024). Influence of *Aloe Vera* Gel on Germination and Early Growth of Tomato

(*Solanum lycopersicum*) Seedlings in the Nursery. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(10), 91–102. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i102928>

Origenes, M. G., & Lapitan, R. L. (2020). Effect of Coconut Water on Pre-Sowing Treatments Additive on Seed Germination and Initial Seedlings Growth Performance of Kamagong (*Diospyros discolor*). *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 58–71. <https://doi.org/10.9734/ajraf/2020/v6i430116>

Pajuelo, A. (2024). Efecto de dos bioestimulantes en el rendimiento de *Theobroma cacao* (cacao) en Tingo María [Tesis de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de La Selva.

Palacios-Herrera, B., Pereira-Lorenzo, S., & Pucha-Cofrep, D. (2023). Natural and Artificial Occurrence, Structure, and Abundance of *Juglans neotropica* Diels in Southern Ecuador. *Agronomy*, 13(10), 2531. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102531>

Pañitrur, C., Navarro, J., Espejo, Ma. J., & Sandoval, A. (2021). Germinación, crecimiento y desarrollo de *Bulnesia chilensis* Gay bajo diferentes tratamientos pregerminativos. *Gayana. Botánica*, 78(2), 121–130. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432021000200121>

Rodríguez, Y., Martínez, J., & Cruz, A. (2021). Los bioestimulantes. Una alternativa para el desarrollo agroecológico cubano. *Ecovida: Revista Científica Sobre Diversidad Biológica y Su Gestión Integrada*, 11(3), 225–249.

Schwartz, G., Pereira, P. C. G., Siviero, M. A., Pereira, J. F., Ruschel, A. R., & Yared, J. A. G. (2017). Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. *Forest Ecology and Management*, 390, 166–172.

Serna-Mosquera, Y. B., Torres-Torres, J. J., & Asprilla-Palacios, Y. Y. (2020). Durabilidad natural de la madera de *Ochroma pyramidale* Urb. en el municipio de Atrato, Colombia. *Entramado*, 16(1), 192–202.

Shume, A., Hussen, M., Belete, Y., Asresu, G., Werie, B., Wondie, M., Belay, B., Abebe, G., Alene, Y., Semhagn, A., & Asmare, S. (2024). Effect of pre-sowing treatment techniques on seed germination and early growth performance of *Adansonia digitata* (L.) seedlings.

Sifuentes-Rodríguez, N. S., Pedroza-Sandoval, A., Zegbe, J. A., & Trejo-Calzada, R. (2020). INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE GEL DE SÁBILA EN CONDICIONES DE ESTRÉS SALINO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(2), 181. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.2.181>

Telles Antonio, R., Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., & De los Santos Posadas, H. M. (2021). Características edáficas y topográficas asociadas con el crecimiento en volumen de *Gmelina arborea* Roxb, en Tlatlaya Estado de México. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2711987>

Toledo-González, K. A., Levy-Tacher, S. I., Macario-Mendoza, P. A., & De Nova-Vázquez, J. A. (2018). Germinación de dos variedades de *Ochroma pyramidale* (Cav.

ex Lam.) Urb. de la Selva Lacandona, Chiapas. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente, 25(1), 85–94. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.046>

Tucuch Haas, C., Cen-Caamal, J. C., Kancab-UC, R. A., & Tucuch-Haas, J. I. (2022). Uso de gel de Aloe vera en la producción de plántulas de Capsicum chinense. Biotecnia, 24(1), 116–121. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1542>

Valverde-Lucio, Y., Moreno-Quinto, J., Quijije-Quiroz, K., Castro-Landín, A., Merchán-García, W., & Gabriel-Ortega, J. (2020). Los bioestimulantes. Journal of the Selva Andina Research Society, 11(1), 18–28. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2020.110100018>

Vélez, E. (2021). Evaluación del efecto de los fertilizantes químicos Fosfato di Amónico (DAP) y Yaramila complex en la producción de plántulas de Ochroma pyramidale (Cav. Ex Lam.) Urb. (balsa) bajo el sistema Jiffy Pellets [Tesis de Ingeniero Forestal]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Zambrano, E. (2020). Efectos de la fertilización orgánica y química sobre los patrones morfológicos de Ochroma pyramidale Cav. (Balsa) en etapa de vivero [Tesis de Ingeniero Forestal]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.