

Short Note [Nota Corta]



Propagación de *Zamia furfuracea* L.f. ex Aiton especie amenazada y endémica de Veracruz, México †

[Spread of *Zamia furfuracea* L.f. ex Aiton endangered and endemic species of Veracruz, Mexico]

Iliana Santiago-Hernández¹, Catalino Jorge López-Collado¹,
Alejandro Alonso-López¹, Martín Alfonso Mendoza-Briseño¹,
Eusebio Ortega-Jiménez¹ and Alejandro Salinas-Castro^{2*}

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Federal Veracruz-Xalapa, A.P. 91700, Veracruz, México. Email: santiago.iliana@colpos.mx, ljorge@colpos.mx, alealonso@colpos.mx, mmendoza@colpos.mx, eortegaj@colpos.mx

²Centro de Investigación en Micología Aplicada, Universidad Veracruzana, Médicos 5, U.H. del Bosque, Xalapa 91010, Veracruz, México. Tel. 52 (228) 840 42 55.

Email: asalinas@uv.mx *

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The cycad (*Zamia furfuracea*) belonging to the Zamiaceae family, is native to Mexico and is cultivated in arid regions (Octavio-Aguilar *et al.*, 2017). It is economically significant due to its high ornamental value (Vega *et al.*, 2019). However, sexual reproduction is limited because the seeds are recalcitrant, exhibit slow germination, and have a long production period, resulting in a fragmented and reduced population (Turner *et al.*, 2022). **Objective:** To develop an alternative approach for germinating *Z. furfuracea* plants using different substrates and applying the plant growth regulator gibberellin to establish a protocol for sexual propagation. **Methodology:** *Z. furfuracea* seeds were treated with eight different substrate combinations, with and without the application of gibberellin (GA₃): control with gibberellin (pine bark + perlite) (PIR), sand with gibberellin (ACR), gravel with gibberellin (GCR), peat moss + sand + perlite with gibberellin (PER), control without gibberellin (pine bark + perlite) (PISR), sand without gibberellin (ASR), gravel without gibberellin (GSR), and peat moss + sand + perlite without gibberellin (PESR). The following variables were evaluated: percentage of seed germination, number of leaves, stem diameter, root length, and overall plant length. **Results:** The use of the plant growth regulator gibberellin across different substrates promoted the germination of *Z. furfuracea* seeds by day 28. The gravel substrate combined with gibberellin yielded the best plant development, reaching a length of 40 cm at 11 months of cultivation. **Implications:** The choice of substrate should take into account aeration, drainage, and water retention to optimize the initial growth of plants. **Conclusion:** The application of substrates supplemented with gibberellin represents an efficient alternative to enhance the germination process, potentially allowing for the development of plants in greenhouse conditions before field transplantation. **Key words:** germination; tetrazolium chloride; gibberellic acid; substrates.

RESUMEN

Antecedentes: La cicada (*Zamia furfuracea*) de la familia Zamiaceae, es nativa de México y se cultiva en regiones áridas (Octavio-Aguilar *et al.*, 2017). Es económicamente importante por su alto valor ornamental (Vega *et al.*, 2019). Sin embargo, la reproducción sexual es baja debido a que son semillas recalcitrantes, germinación lenta y el largo tiempo de producción, conducen a una población fragmentada y reducida (Turner *et al.*, 2022). **Objetivo.** Desarrollar una alternativa para la germinación de plantas de *Z. furfuracea* utilizando diferentes sustratos y aplicando el regulador de crecimiento vegetal (giberelina) para obtener un protocolo de propagación sexual. **Metodología:** Las plantas de *Z. furfuracea* fueron tratadas con diferentes sustratos con y sin regulador del crecimiento vegetal (giberelina: GA₃) fueron 8 tratamientos, control con regulador pino + agrolita (PIR), Arena con regulador (ACR), Gravilla con regulador (GCR), peat moss + arena + agrolita con regulador (PER), control sin regulador pino + agrolita (PISR), arena sin regulador (ASR), Gravilla sin regulador (GCR), peat moss + arena + agrolita sin regulador (PESR). Se evaluaron las siguientes

† Submitted May 21, 2025 – Accepted October 7, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6346>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

variables: porcentaje de germinación de las semillas, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíz y longitud de la planta. **Resultados:** El uso de regulador de crecimiento vegetal giberelina en los diferentes sustratos confirmó la germinación de semillas de *Z. furfuracea* a los 28 días. El sustrato de gravilla con giberelina obtuvo el mejor desarrollo de las plantas *Z. furfuracea* con una longitud de 40 cm a los 11 meses del cultivo. **Implicaciones:** La elección del sustrato debe considerar la aireación, el drenaje y la retención de agua para optimizar el crecimiento inicial de las plantas. **Conclusión:** El uso de sustratos + giberelina en *Z. furfuracea* es una alternativa eficiente para mejorar el proceso de germinación y podría permitir el desarrollo de las plantas en invernadero antes del trasplante en campo. **Palabras clave:** germinación; cloruro de tetrazolio; ácido giberélico; sustratos.

INTRODUCCIÓN

La especie *Zamia furfuracea* (palma de bola) de la familia Zamiaceae es nativa de México, se cultiva en regiones áridas, en suelos calcáreos, sabanas, desierto y dunas costeras (Octavio-Aguilar *et al.*, 2017). México es uno de los países con mayor diversidad del orden Cycadales; cuenta con 54 especies, de las cuales 48 son endémicas (Pérez-Ferrera, 2023). Actualmente esta especie ha sufrido pérdida de su hábitat y sus poblaciones cada vez son más reducidas y dispersas (Murphy *et al.*, 2013). En México la palma bola se encuentra en peligro de extinción (P) de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT, 2010). En la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Bösenberg, 2022) se encuentra clasificada en peligro de extinción, la principal amenaza es la cosecha ilegal de semillas y el saqueo inmoderado de plantas de sus poblaciones silvestres.

La propagación de *Z. furfuracea* por semilla tiene limitantes como el tiempo de maduración de las semillas, la presencia de la sarcotesta (capa carnosa externa) que contiene inhibidores de la germinación, la escleroteca gruesa impide la entrada de agua y el embrión requiere almacenamiento para completar su desarrollo, esto genera un bajo porcentaje de germinación (Nadarajan *et al.*, 2018; Nagendra y Kumar, 2022; Turner *et al.*, 2022; Lima y Oliveira, 2024).

La palma bola tiene una tasa de germinación del 40% en un periodo de nueve y veinticinco semanas (Smith, 1978). Una alternativa para incrementar la velocidad de germinación en esta especie es el uso de un buen sustrato y reguladores del crecimiento vegetal, tales como la giberelina (Khatri *et al.*, 2025). La germinación de las semillas es un proceso fisiológico fundamental en las plantas, donde la semilla absorbe agua, activa su metabolismo y desarrolla una nueva planta (Nakano *et al.*, 2020; Klupezyńska y Pawlowski, 2021). Sin embargo, para que la germinación ocurra de manera óptima, las semillas deben tener las condiciones favorables (Sharma *et al.*, 2022). La temperatura, la luz, la salinidad, el pH del suelo, el contenido de agua, el oxígeno y la disponibilidad de nutrientes influyen en la germinación; cada especie presenta un rango óptimo específico. Cuando estos factores se encuentran fuera

de dicho rango, pueden inhibir o retrasar el proceso (Tuan *et al.*, 2025). Por otro lado, los microorganismos del suelo y de las semillas pueden promover o inhibir la germinación. La alelopatía y el daño por insectos reducen la capacidad de germinación (Fiodor *et al.*, 2023). La germinación también está regulada por un mecanismo interno conocido como latencia o dormición (Fu *et al.*, 2025); este estado impide que una semilla viable germine incluso bajo condiciones ambientales favorables.

Los sustratos son materiales naturales o sintéticos, que brindan soporte físico y condiciones óptimas para el desarrollo inicial de las plantas (Martínez-Florián y Roca, 2011), el cual garantiza la adecuada retención de humedad, aireación y en ciertos casos el suministro de nutrientes, también activa el metabolismo de la semilla (Luo *et al.*, 2025). Por otro lado, el ácido giberélico es regulador del crecimiento vegetal clave que permite la germinación de semillas al promover el crecimiento embrionario (Vishal y Kumar, 2018). Los efectos del sustrato sobre la germinación de semillas han sido evaluados en diferentes especies como café (*Coffea arabica*) (Gebreselassie *et al.*, 2010), níspero (*Horsfieldia hainanensis*) (Liu *et al.*, 2024), soya (*Glycine max*) (Tunes *et al.*, 2020) y pasto (*Festuca wagneri* y *Festuca tomanii*) (Szabó-Szöllösi *et al.*, 2024), donde han mostrado resultados favorables para la germinación de semillas. Ante esta problemática, es crucial buscar alternativas que aceleren el proceso de germinación y crecimiento de las plantas de *Z. furfuracea*. El objetivo de esta investigación fue desarrollar una alternativa para la germinación de plantas de *Z. furfuracea* utilizando diferentes sustratos y aplicando el regulador de crecimiento vegetal (giberelina) para obtener un protocolo de propagación sexual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de semillas

Las semillas de *Z. furfuracea* se recolectaron en la comunidad de Boca del Río, Veracruz, México, a 19°06'39"N y 96°07'17"W. Para esta investigación, se seleccionaron 20 conos maduros. Las semillas se llevaron al laboratorio y posteriormente se eliminó la sarcotesta utilizando el método descrito por Dehgan y Schutzman (1983). Finalmente, las semillas se

colocaron en una estufa de secado (Thermo Fisher) a 23 °C durante 15 días.

Evaluación de la prueba de tetrazolio

Para evaluar la viabilidad de las semillas, se realizó la prueba de Tetrazolio (TZ) descrita por Moore (1983). Se utilizaron 20 semillas maduras de *Z. furfuracea*. Las semillas se cortaron longitudinalmente y se incubaron en una solución de cloruro de tetrazolio al 0.05% y 0.1% con pH 7. Las semillas se mantuvieron en oscuridad durante 24 horas a 35 °C. La tinción y viabilidad de los embriones se determinaron mediante el protocolo descrito por De Carvalho *et al.* (2013).

Germinación de las semillas

Se utilizaron 168 semillas de *Z. furfuracea* para realizar el experimento. Las semillas se dividieron en ocho tratamientos: control con regulador del crecimiento, pino + agrolita (PIR), arena con regulador del crecimiento (ACR), gravilla con regulador de crecimiento (GCR), peat moss + arena + agrolita con regulador de crecimiento (PER), control sin regulador del crecimiento, pino + agrolita (PISR), arena sin regulador de crecimiento (ASR), gravilla sin regulador de crecimiento (GCR) peat moss + arena + agrolita sin regulador de crecimiento (PESR). Las semillas tratadas con ácido giberélico (BIOGIP 10 PS®, de Arysta LifeScience®, Cary, NC, EE. UU.) fueron sumergidas en una solución de 0.5 mg L⁻¹. Estas se mantuvieron en agitación constante de 150 rpm en agitador orbital de laboratorio (shaker, Thermo Scientific™, Reino Unido, CN) durante 24 horas. Las semillas fueron sembradas en los diferentes sustratos y a los 28 días se obtuvieron los porcentajes de germinación de acuerdo al método descrito por Nolasco-Guzmán *et al.* (2017). Posteriormente, las plantas germinadas fueron trasplantadas en macetas de plástico de 4 pulgadas, color negro. Las plantas de *Z. furfuracea* se mantuvieron en invernadero con 50 % de sombra a 30 ± 5 °C, con humedad relativa del 60 ± 10 % y luz natural con una irradiancia de 80 ± 10 μmol m⁻² s⁻¹. Después de 11 meses se evaluaron las variables de desarrollo: número de hojas por planta, número de raíces por planta, longitud de raíz, longitud de la planta y diámetro del tallo.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, incluyó 168 semillas, de las cuales 84 fueron para los tratamientos sin regulador del crecimiento y 84 para tratamientos con regulador de crecimiento. Los datos se analizaron mediante ANOVA (análisis de la varianza simple), con una prueba de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, v23). Los valores porcentuales se transformaron mediante la siguiente

fórmula: $Y = \arcsine(\sqrt{x/100})$, donde el valor “x” corresponde al porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la prueba de tetrazolio

Los embriones se tiñeron de color rojo de manera uniforme con una concentración al 0.1%, lo que muestra alta actividad enzimática en las semillas. La solución de tetrazolio es incolora al entrar en contacto con células vivas, acepta iones de hidrógeno de la enzima deshidrogenasa dando lugar al trifenil formazán, lo que hace posible distinguir los tejidos vivos de color rojo y los tejidos muertos incoloros (Dhaka *et al.*, 2024). Mientras que la concentración de 0.05% tuvo una coloración rosa y el testigo no mostró coloración (Figura 1). Los resultados indican que la prueba fue implementada de manera adecuada y que el reactivo responde correctamente. Resultados similares también observados por De Carvalho *et al.* (2014) reportaron en semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*) con Tetrazolio al 0.1% una coloración roja, Sedghi (2025) reportó en frijol (*Phaseolus vulgaris*) con la concentración de 0.1% color rojo. Turner *et al.* (2023) evaluaron la prueba de TZ en cíada (*Macrozamia fraseri*), observaron que las semillas almacenadas por tiempos prolongados de 30 meses, no reaccionan a la prueba TZ. Dhaka *et al.* (2024) reportaron en pino (*Pinus roxburghii*) el test tetrazolio a una concentración de 1.0, 1.5 y 2.0%; obtuvo mejor resultado con 1.0 %. La prueba de tetrazolio es un método bioquímico que se ha perfeccionado, principalmente para evaluar la viabilidad y el vigor fisiológico de las semillas. La prueba de tetrazolio utilizando la concentración de 0.1% es eficiente para evaluar la viabilidad de semillas de *Z. furfuracea*.

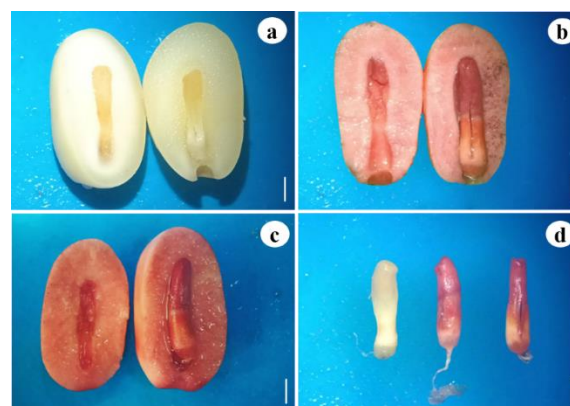


Figura 1. Embriones de *Zamia furfuracea* sometidos a la prueba de Tetrazolio test (TZ): a) control, b) embriones en solución de TZ al 0.05%, c) embriones en solución de tetrazolio a 0.1% de TZ, d) embriones fuera del endospermo. Barra blanca = 1 cm.

Germinación de las semillas

En la germinación de semillas de *Z. furfuracea* se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor porcentaje de germinación se observó en los tratamientos GCR con 96.66% y ACR con 82.33%, mientras que el menor porcentaje se observó en los tratamientos sin reguladores PISR con 12%, ASR con 20% y PESR con 13.33% (Tabla 1). Para las variables de desarrollo: número de hojas, diámetro del tallo, longitud de la raíz. El mayor número de hojas por planta se observó en los tratamientos con ACR y GCR, mientras que el menor número de hojas por planta se observó en el tratamiento PESR. Para el diámetro del tallo, el número más alto se observó en el tratamiento GCR, mientras que el número más bajo se obtuvo en el tratamiento PESR. Para la variable longitud de raíz por planta, las raíces más grandes se observaron en los tratamientos con ACR, GCR y GSR, mientras que las raíces más pequeñas se encontraron en los tratamientos PER, PISR y PESR. Dehgan y Schutzman (1983) registraron en semillas de Cycadales que la dosis de 0.5 mg L⁻¹ de AG3 ayudó a acelerar la germinación. Por otra parte, Smit (1978) reportó en cycada *Z. furfuracea* el 73% de germinación con una dosis de 0.5 mg L⁻¹ de ácido giberélico. Dehgan y Johnson (1983) realizaron pruebas en *Z. floridana* obteniendo el 90% de germinación con la adición de GA₃ a la concentración de 0.5 mg L⁻¹. Mabuya *et al.* (2025) reportaron en la cycada (*Encephalartos altensteinii*) que la adición de GA₃ acelera la germinación. Chen *et al.* (2007) demostraron en cerezo (*Prunus campanulata*) el 93% de germinación utilizando GA₃ con dosis de 0.5 mg L⁻¹. Rizk *et al.* (2023) reportaron en amaranto y avena (*Amaranthus retroflexus* y *Avena sterilis*) con un 92% de germinación para amaranto con dosis de 100 mg L⁻¹ y el 100% de germinación para avena con dosis de 250 mg L⁻¹. En esta investigación se obtuvo un 96% de

germinación a los 28 días con una concentración de 0.5 mg L⁻¹ de ácido giberélico. El GA₃ ayuda a romper la dormancia al activar enzimas y regular procesos que favorecen la germinación de la semilla.

Zamora-Cornelio *et al.* (2010) demostraron que un sustrato combinado con arena dio una alta tasa de germinación. En cuanto a variables de desarrollo, el sustrato de gravilla mostró mejores resultados, lo que probablemente se debe a la textura del sustrato que favoreció el drenaje y su consecuente disponibilidad para la planta (figura 2). Carranza-Díaz (2022) indicó que sustratos combinados con arena de río aceleraron la velocidad de germinación de (*Myrcianthes rhopaloides*) y el desarrollo de las hojas y la altura de las plantas. Los sustratos como arena y gravilla pueden mejorar el crecimiento de las plantas. Sin embargo, presenta desafíos en especies que requieren mayor porcentaje de humedad. Las principales razones que se deben mejorar incluyen mejor drenaje, menor competencia de malezas y, en algunos casos, reducción de contaminantes.

Para la variable de longitud de las plantas de palma bola en los diferentes sustratos no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor número en longitud de la planta se observó en los tratamientos con GCR, y la menor longitud de planta se observó en el tratamiento PESR (Figura 3). González y Camacho (2000) reportaron en palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) mejor crecimiento en sustratos de Gravilla superando a la turba y arena negra. Gupta (2024) en rábano rojo y rábano blanco (*Raphanus sativus* y *Pusa chetki*) demostró mejor desarrollo de tubérculo en rábano con sustratos de arena fina y gravilla fina. Por otro lado, Poursafarali *et al.* (2011) en agave amica (*Polianthes tuberosa*) reportaron mejor desarrollo vegetativo utilizando una mezcla de grava fina, estiércol y perlita.

Tabla 1. Evaluación de diferentes sustratos en la germinación y desarrollo de *Zamia furfuracea* a los 28 días y 11 meses del cultivo.

Tratamientos		Germinación (%)	Número de hojas	Diámetro del tallo (cm)	Longitud de raíz (cm)
Con giberelina	PIR	50.00 ± 0.00 b	3.31 ± 0.15 bc	10.37 ± 1.08 bc	16.24 ± 1.66 ab
	ACR	82.33 ± 6.22 a	4.78 ± 0.08 a	11.22 ± 0.57 b	17.98 ± 0.64 a
	GCR	96.66 ± 3.33 a	5.04 ± 0.10 a	25.36 ± 0.58 a	20.70 ± 0.39 a
	PER	50.00 ± 2.88 b	3.71 ± 0.19 b	6.83 ± 0.74 cde	8.42 ± 0.68 c
Sin giberelina	PISR	21.66 ± 6.00 c	3.33 ± 0.21 bc	5.08 ± 1.18 de	8.18 ± 1.60 c
	ASR	20.00 ± 0.00 c	3.71 ± 0.16 b	5.30 ± 0.43 de	14.63 ± 2.65 bc
	GSR	53.33 ± 8.81 b	3.93 ± 0.06 b	8.40 ± 0.37cd	20.07 ± 2.79 a
	PESR	13.33 ± 3.33 c	2.80 ± 0.20 c	3.91 ± 0.46 e	8.70 ± 1.51bc

Los valores representan la media ± error estándar de datos tomados a los 28 días para la germinación de semillas y a los 11 meses para las variables de desarrollo. Las medias con letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p < 0.05$). PIR: control con regulador pino + agrolita; ACR: Arena con regulador; GCR: Gravilla con regulador; PER: peat moss + arena + agrolita con regulador; PISR: control sin regulador pino + agrolita; ASR: arena sin regulador; GSR: Gravilla sin regulador; PESR: peat moss + arena + agrolita sin regulador.

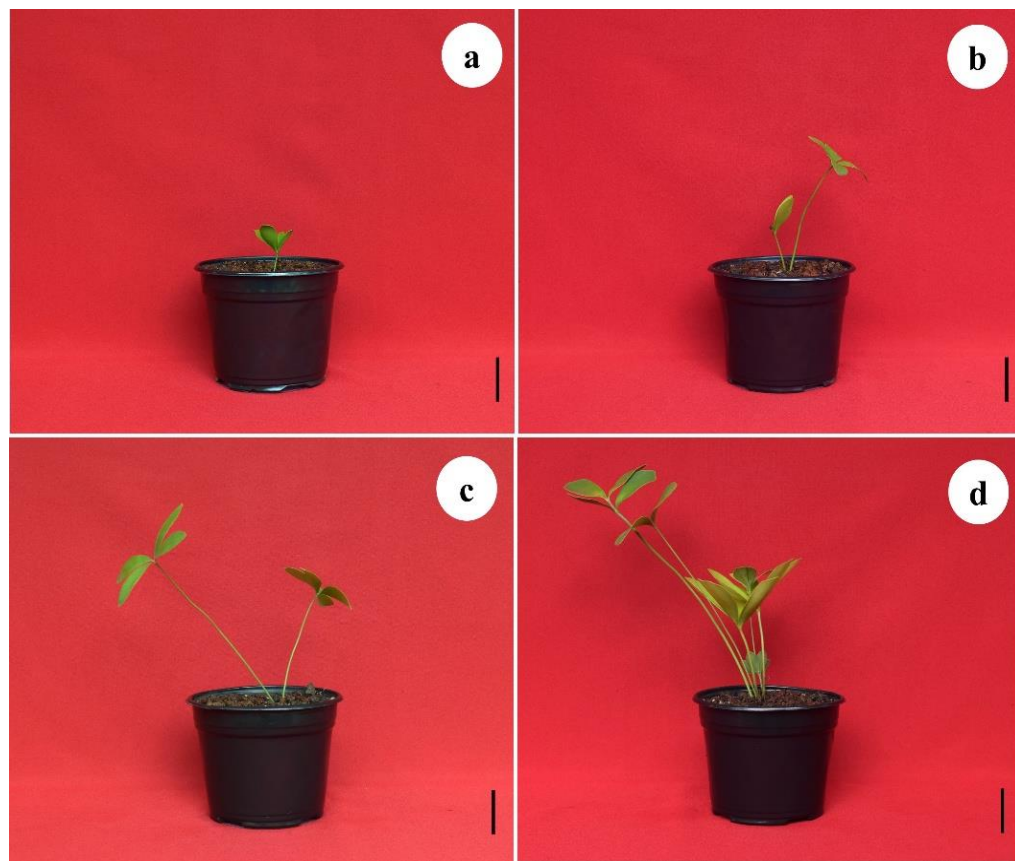


Figura 2. Efecto del sustrato de gravilla sobre el desarrollo de las plantas de *Zamia furfuracea* en condiciones de invernadero a los 11 meses de cultivo. a) tratamiento a los 3 meses, b) tratamiento a los 6 meses, c) tratamiento a los 9 meses, d) tratamiento a los 11 meses. Barra negra = 10 cm.

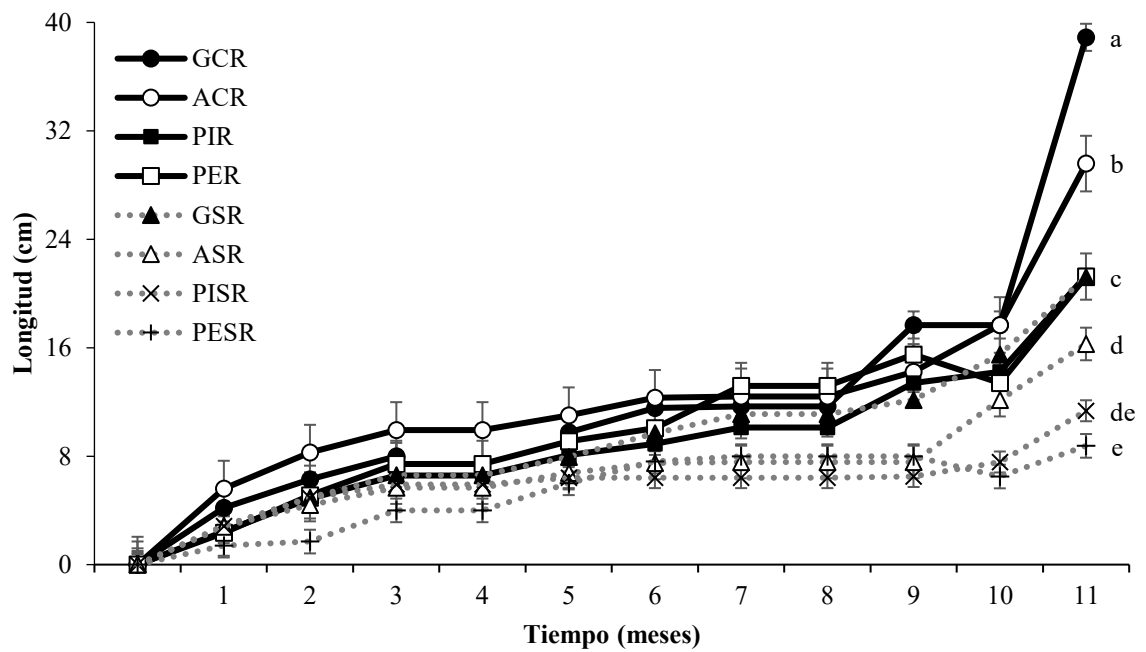


Figura 3. Efecto de los diferentes sustratos en la longitud de plantas de *Zamia furfuracea* a los 11 meses del cultivo.

CONCLUSIÓN

La combinación de sustrato de gravilla con la aplicación de giberelina, mostró ser una estrategia eficiente para una mejor tasa de germinación y el desarrollo inicial de plántulas de *Z. furfuracea* en condiciones de vivero, el tratamiento superó el desempeño de sustratos convencionales, probablemente porque la gravilla mejora la aireación y el drenaje, mientras que las giberelinas facilitaron la superación de la dormancia y estimulación de procesos fisiológicos esenciales, como la movilización de reservas y la activación de enzimas vinculadas a la expansión celular. Estos resultados ofrecen una opción práctica para apoyar la propagación y reproducción biológica de la especie en peligro de extinción, cuando se tiene un alto porcentaje de viabilidad de semillas se pueden mejorar los programas de conservación, restauración y manejo sostenible de la palma de bola con valor ornamental y ecológico.

Acknowledgements

The first author thanks SECIHTI Mexico for a grant for postgraduate studies (Dra. in Tropical Agroecosystems) at the College of Postgraduates, Campus, Veracruz.

Funding. No financial support was received to conduct this work.

Conflict of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Compliance with ethical standards. The authors confirm that this investigation was conducted under the current ethical procedures. No humans or animals were used in the study of this article.

Data availability. Data is available with the corresponding author upon request.

Author contribution statement (CRediT). **I. Santiago-Hernández** – Sample acquisition, Methodology, Writing first draft. **C.J. López-Collado** – Conceptualization, Validation, Supervision. **A. Alonso-López** – Conceptualization, Validation, Supervision. **M.A. Mendoza-Briseño** – Conceptualization, Validation, Supervision. **E. Ortega-Jiménez** – Conceptualization, Validation, Supervision. **A. Salinas-Castro** – Conceptualization, Investigation, Writing, Validation, Supervision.

REFERENCES

Bösenberg, J.D., 2022. *Zamia furfuracea* (errata version published in 2023). The IUCN Red List of Threatened Species 2022: e.T213252394A243404393.

<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T213252394A243404393.en>

Carranza-Díaz, B.C., 2022. Germinación y crecimiento inicial de *Myrcianthes rhopaloides* (Kunt) Mc Vaugh (chilimar) en diferentes sustratos, Chota, Perú. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de Chota, pp 1-131. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/328>

Chen, S.Y., Chien, C.T., Chung, J.D., Yang, Y.S. and Kuo, S.R., 2007. Dormancy-break and germination in seeds of *Prunus campanulata* (Rosaceae): role of covering layers and changes in concentration of abscisic acid and gibberellins. *Seed Science Research*, 17(1), pp. 21-32. <https://doi:10.1017/S0960258507383190>

De Carvalho, T.C., Krzyzanowski, F.C., Ohlson, O. de C. and Panobianco, M., 2013. Tetrazolium test adjustment for wheat sedes. *Journal of Seed Science*, 35(3), pp. 361-367. <https://www.scielo.br/j/jss/a/WwzmxLhHHJWtjDnmD9FjGzd/?format=html&lang=en>

De Carvalho, T., De Souza Grzybowski, R.C., Ohlson, O. De C. and Panobianco, M., 2014. Adaptation of the tetrazolium test method for estimating the viability of sorghum seeds. *Journal of Seed Science*, 36 (2), pp. 246-252. <https://doi.org/10.1590/2317-1545V32N2713>

Dehgan, B. and Schutzman, B., 1983. Efecto de H₂SO₄ y GA₃ en la germinación de semillas de *Zamia furfuracea*. *HortScience*, 18 (3), pp. 371-372. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.18.3.371>

Dhaka, R.K., Thakur, P., Kaler, N.S., Sharma, S.D., Negi, C. and Brahmi, M.K., 2024. Standardization of Quick Seed Viability Protocol for *Pinus roxburghii* Sarg. Using Tetrazolium Assay. *Journal of Advances in Biology and Biotechnology*, 27(5), pp. 41-50. <http://doi.org/10.9734/JABB/2024/v27i5760>

Fiodor, A., Ajijah, N., Dziewit, L. and Pranaw, K., 2023. Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Frontiers in Microbiology*, 14, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1142966>

Fu, D., Wu, W., Mustafa, G., Yang, Y. and Yang, P., 2025, Molecular mechanisms of rice seed germination. *New Crops*, 2, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ncrops.2024.100051>

- Gebreselassie, W., Mohammed, A. and Netsere, A., 2010. Pre-sowing treatment of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds to enhance emergence and subsequent growth of seedlings. *Research Journal of Seed Science*, 3(4), pp. 218-226.
- González, K., and Camacho, M., 2000. Test on growing media for *Eysenhardtia polystachya*, a promising species for planting on degraded areas of Mexico. *Seed Science and Technology*, 28, pp. 271-275. <https://eurekamag.com/research/003/267/003267558.php>
- Gupta, R., 2024. Comparative assessment of soil effects on germination in radish plants (*Raphanus sativus* cv *Pusa chetki*). *International Journal of Science and Research*, 13(3) pp. 1762-1764. <https://doi.org/10.21275/sr24327114304>
- Khatri, S., Shylla, B., Sharma, D.P., Sharma, R. and Nagu, M., 2025. Mejora de la germinación y el crecimiento de semillas de *Diospyros Lotus* L. para plántulas de portainjertos injertables robustos utilizando sustratos de cultivo orgánicos y ácido giberélico. *Applied Fruit Science*, 67 (3), pp. 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01310-0>
- Klupeczyńska, E.A. and Pawłowski, T.A., 2021. Regulation of seed dormancy and germination mechanisms in a changing environment. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijms22031357>
- Lima, E.J.M. and Oliveira, A.J., 2024. Breaking dormancy in *Cycas revoluta*: a study of seed morphological characterization and dormancy mechanisms. *Journal of Seed Science*, 46, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v46289799>
- Liu, X., Xiao, Y., Wang, Y., Wang, R., Huang, R., Liang, H. and Jiang, Y., 2024. Seed germination ecology of endangered plant *Horsfieldia hainanensis* Merr. in China. *BMC Plant Biology*, 24(1), pp. 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05208-z>
- Luo, Z., Ma, S., Sun, B., Zhang, X. and Jiang, S., 2025. Optimization of seed germination in snow lotus (*Saussurea involucre*): synergistic effects of PEG-GA 3-IBA treatments and peat-vermiculite substrates. *BMC Plant Biology*, 25, pp. 1-18. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6339962/v1>
- Mabuya, N., Jimoh, O.M., October, J. and Laubscher, P.C., 2025. Breaking seed dormancy and improving seedling growth of *Encephalartos altensteinii* Lehm. using seed hydration-dehydration treatment and acid scarification. *Journal of Environmental Horticulture*, 43 (1), pp. 19-29. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-43.1.19>
- Martínez-Florián, P. and Roca, D., 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo: materiales, propiedades y manejo. In: J.V. R. Flórez, eds. *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Agronomía, Bogotá. pp. 37-77. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/3894>
- Moore, R.P., 1983. Handbook on tetrazolium testing. International seed testing association, Zurich, Switzerland. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2289333>
- Murphy, V., Moore, K., Griffith, P.M. and Husby, C., 2013. Improving conservation through Cultivation: nine container substrates influence growth of a rare cycad, *Zamia pumila* L. *HortScience*, 48 (9), pp. 1168-1172. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.9.1168>
- Nadarajan, J., Benson, E.E., Xaba, P., Harding, K., Lindstrom, A., Donaldson, J., Seal, C.E., Kamoga, D., Agoos, E.M.G., Li, N., King, E. and Pritchard, H.W., 2018. Comparative biology of cycad pollen, seed and tissue—a plant conservation perspective. *The Botanical Review*, 84 (3), pp. 295-314. <https://doi.org/10.1007/s12229-018-9203-z>
- Nagendra, C. and Kumar, S.B., 2022. Macro-propagation and conservation of cycad species at botanical garden. *International Journal of Biological and Environmental Investigations*, 2, 1-12 pp. <https://doi.org/10.33745/ijbei.2022.v02i02.002>
- Nakano, H., Takahata, K., Mine, Y. and Sugiyama, N., 2020. Characterizing the main and epistatic effects and interactions of germination-related quantitative trait loci of tomato using a backcross inbred line population and near-isogenic lines. *Scientia Horticulturae*, 261,

- pp. 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109028>
- Nolasco-Guzmán, V., Calyecac-Cortero, H.G., Muñoz-Orozco, A., Miranda-Rangel, A. and Cuevas-Sánchez, J.A., 2017. Evaluación experimental de germinación y emergencia en semillas de piñón mexicano del Totonacapan. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), pp. 1959-1971.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.129>
- Octavio-Aguilar, P., Iglesias-Andreu, L.G., Nuñez De Cáceres-González, F.F. and Galván-Hernández, D.M., 2017. Fine-scale genetic structure of *Zamia furfuracea*: variation with life-cycle stages. *International Journal of Plant Sciences*, 178(1), pp. 57-66.
<https://doi.org/10.1086/689200>
- Pérez-Farrera, M.A., Gutiérrez-Ortega, J.S., Martínez-Martínez, M.G. and Calonje, M., 2023, *Zamia magnifica* (Zamiaceae, Cycadales): a new rupicolous cycad species from Sierra Norte, Oaxaca, Mexico. *Taxonomy*, 3(2), pp. 232-249.
<https://doi.org/10.3390/taxonomy3020017>
- Poursafarali, E., Hashemabadi, D, Kaviani, B, and Kholdi, A., 2011, Effect of different cultivation beds on the vegetative growth of *Polianthes tuberosa* L. *African Journal of Agricultural Research*, 6(19), pp. 4451-4454.
<https://doi.org/10.5897/AJAR11.814>
- Rizk, T.Y., Othman kholousy, A.S., Saudy, H.S., Sultan, S.S. and Abd-Alwahed, A.A., 2023, Breaking dormancy and enhancing germination of *Avena sterilis* L. and *Amaranthus retroflexus* L. weeds by gibberellic acid and potassium nitrate to keep soil and crops healthy. *Gesunde Pflanzen*, 75(4), pp. 757-763.
<https://doi.org/10.1007/s10343-022-00780-6>
- Sedghi, M., 2025. Comprehensive assessment of seed vigor in common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) using tetrazolium test and antioxidant biomarkers. *Social Science Research Network*, 24, pp. 1-14.
<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5231225>
- SEMARNAT., 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental–especies nativas de México de flora y fauna silvestres–categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio–lista de especies en riesgo. Segunda sección del Diario Oficial de la Federación.
<https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- Sharma, P., Meyyazhagan, A., Easwaran, M., Sharma, M.M.M., Mehta, S., Pandey, V. and Chelliapan, S., 2022. Hydrogen sulfide: a new ally for seed germination under adverse environmental conditions. *Plant Growth Regulation*, 98(3), pp. 401-420.
<https://doi.org/10.1007/s10725-022-00887-w>
- Smith, S.G., 1978. Seed scarification to speed germination of ornamental cycads (*Zamia* spp.). *HortScience*, 13(4), pp. 436-438.
<https://doi.org/10.21273/hortsci.13.4.436>
- Szabó-Szöllösi, T., Baracsi, É.H., Csontos, P., Papp, L., Kisvarga, S., Orlóci, L., Házi, J., Kende, Z., Saláta, D., Fuchs, M., Keleti, J.R., Tarnawa, Á., Rusvai, K. and Penksza, K., 2024. Evaluation of native festuca taxa for sustainable application in urban environments: their characteristics, ornamental value, and germination in different growing media. *Soil Systems*, 8(3), pp. 99-129.
<https://doi.org/10.3390/soilsystems8030099>
- Tuan, P.A., Sharma, D., Kalota, R., Kaur, G. and Ayele, B.T. 2025. 1-Molecular mechanisms of seed germination. In: H. Feng., B. Nemzer., J.W. DeVries. and J. Ding., eds. *Sprouted Grains: nutritional value, production and applications, second edition*. Woodhead Publ. & Cereals & Grains Assoc, pp. 1-33.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23634-1.00001-4>
- Tunes, C.D., Da Motta Xavier, F., Basilio, V.B., Neumann, A.M., Hartwig, I. and Meneghello, G.E., 2020. Distinct levels of quality of treated soybean seeds evaluated in alternative substrates to the germination test. *Brazilian Journal of Development*, 6(8), pp. 61623-61635. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-547>
- Turner, S.R., Cross, A.T., Just, M., Newton, V., Pedrini, S., Tomlinson, S. and Dixon, K., 2022. Restoration seedbanks for mined land restoration. *The Journal of the Society for Ecology Restoration*, 30 (1), pp. e13667.
<https://doi.org/10.1111/rec.13667>
- Turner, S.R., Pedrini, S., Just, M., Grose, D., Willyams, D. and Dixon, K.W., 2023. Are current seed storage approaches suitable for *Macrozamia fraseri* (Cycadales), a temperate species used in restoration? *Conservation*

- Physiology*, 11(1), pp. 1-9.
<https://doi.org/10.1093/conphys/coad096>
- Vishal, B. and Kumar, P.P., 2018. Regulation of seed germination and abiotic stresses by gibberellins and abscisic acid. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp. 1-15.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00838>
- Wen, H., Yang, S., Shang, Z., Yang, S., Li, X., Yu, S., Zhang, H. and Guo, P., 2025. Transcriptome and metabolite conjoint analysis reveal the seed dormancy release process of perilla. *Scientific Reports*, 15(1), pp. 1-14.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-91039-3>
- Zamora-Cornelio, L.F., Ochoa-Gaona, S., Vargas-Simón, G., Castellanos-Albores, J. and De Jong-Bernardus, H.J., 2010. Germinación de semillas y clave para la identificación de plántulas de seis especies arbóreas nativas de humedales del sureste de México. *Revista de Biología Tropical*, 58(2), pp.717-732.