

## RESEARCH ARTICLE

# Efecto de temperatura, disponibilidad hídrica y la altitud, sobre la germinación de bromelias epífitas en condiciones controladas y de campo

## Effects of temperature, water availability, and elevation on the germination of epiphytic bromeliads under controlled and field conditions

Diana C. Gómez González<sup>1</sup>, Darielis Lezcano Romero<sup>2</sup>, Henry Dubán Velásquez<sup>2</sup> & Yostin Añino<sup>3,4,\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Interdisciplinario de Investigación e Innovación, Universidad Autónoma de Chiriquí, Chiriquí, Panamá.

<sup>2</sup>Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Chiriquí, Chiriquí, Panamá.

<sup>3</sup>Museo de Invertebrados G.B. Fairchild, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.

<sup>4</sup>Coiba Scientific Station, City of Knowledge, Clayton, Panamá.

\*Corresponding author: yostin0660@gmail.com

### RESUMEN

Evaluamos el efecto de la temperatura, la disponibilidad hídrica, y la altitud sobre la germinación de tres especies de bromelias epífitas: *Guzmania glomerata*, *G. stenostachya* y *Werauhia macrochlamys*. En condiciones controladas, la disponibilidad hídrica no afectó significativamente la germinación, pero el aumento de temperatura redujo el éxito germinativo, especialmente en *Guzmania*. En campo, la germinación fue significativamente menor en sitios de menor altitud, replicando los efectos térmicos observados en laboratorio. *W. macrochlamys* mostró mayor tolerancia térmica relativa. Estos resultados indican que la temperatura es un factor limitante clave para la germinación de bromelias epífitas y sugieren su valor como bioindicadores de cambio climático en ecosistemas neotropicales.

**Palabras clave:** bosque montano, cambio climático, epifitismo, gradiente altitudinal, tolerancia ambiental.

### ABSTRACT

We evaluated the effect of temperature, water availability and altitude on the germination of three epiphytic bromeliad species: *Guzmania glomerata*, *G. stenostachya*, and *Werauhia macrochlamys*. Under controlled conditions, water availability did not significantly affect germination, but increased temperature reduced germination success, especially in *Guzmania*. In the field, germination was significantly lower at lower-altitude sites, mirroring the thermal effects observed in the laboratory. *W. macrochlamys* showed greater relative thermal tolerance. These results indicate that temperature is a key limiting factor for the germination of epiphytic bromeliads and suggest their potential as bioindicators of climate change in Neotropical ecosystems.

**Keywords:** altitudinal gradient, climate change, cloud forest, environmental tolerance, epiphytism.

Received: 26.07.2025; Accepted: 13.02.2026

Editor: Alfredo Saldaña

Open Access

©2026 The Author(s). This open access article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction, as long as appropriate credit is given to the original author(s) and the source.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha aumentado significativamente el interés científico por el cambio climático, debido a las consecuencias directas e indirectas que este fenómeno impone sobre los organismos vivos y los ecosistemas que habitan. Entre los efectos más relevantes se encuentran la redistribución geográfica de las especies y la disminución de la riqueza biológica. Según Nuñez *et al.* (2019), las respuestas de la biodiversidad al cambio climático son altamente variables entre grupos taxonómicos y dependen del tipo de hábitat que ocupan. En un meta-análisis global, Nuñez *et al.* (2019), evidenciaron que los efectos del aumento de temperatura sobre las plantas fueron menores en comparación con los vertebrados, independientemente del rango térmico evaluado.

Entre los grupos vegetales considerados más vulnerables al cambio climático se encuentran las epífitas, cuyas estrategias de vida dependen estrechamente de las condiciones atmosféricas para la absorción de agua y nutrientes. Dentro de este grupo, las bromelias epífitas destacan por su abundancia en ecosistemas neotropicales y su potencial como bioindicadores climáticos, aunque aún son escasamente estudiadas en este contexto. Este grupo presenta dos tipos morfológicos principales: las bromelias tipo tanque, que poseen hojas superpuestas que forman cavidades capaces de almacenar agua, y las bromelias atmosféricas, cuyas hojas delgadas y erectas están adaptadas para captar humedad directamente del aire.

Una etapa crítica para la supervivencia de estas plantas es la germinación, definida como el proceso en el que el embrión se desarrolla hasta formar una plántula funcional (Ravikumar 2018). Dada la ausencia de contacto con el suelo y la fuerte dependencia de microclimas, las semillas de bromelias epífitas son particularmente sensibles a variaciones en temperatura, humedad y presión de vapor. La morfología foliar (tanque vs. atmosférica) podría modular sus requerimientos germinativos, lo que refuerza su utilidad como modelos de estudio frente a condiciones ambientales cambiantes.

Las semillas de bromelias presentan una serie de particularidades morfofisiológicas que afectan su germinación: su tamaño extremadamente reducido y su dispersión anemócora exigen condiciones ambientales específicas; su patrón germinativo es inusual, ya que carecen de una radícula visible y en su lugar presentan

una expansión hipocotilar que señala el inicio del proceso (García *et al.* 2006); y la germinación puede ocurrir en un rango amplio de tiempo, entre 7 y 45 días, con variación interespecífica. Asimismo, se ha documentado que las altas temperaturas durante el desarrollo temprano pueden disminuir el tamaño, cantidad y fertilidad de las semillas, retrasar la germinación y reducir el vigor en diferentes cultivos (Reed 2022). La latencia, en este sentido, funciona como una estrategia adaptativa que evita la germinación bajo condiciones desfavorables (Klupczyńska & Pawłowski 2021; Reed 2022).

Müller *et al.* (2017) sugieren que, ante escenarios de aumento térmico, muchas especies epífitas podrían experimentar desplazamientos en su distribución geográfica o adaptarse a nuevas condiciones ambientales. En estudios previos, se ha observado que altos niveles de humedad aceleran la germinación, mientras que una combinación de temperaturas elevadas y baja presión de vapor también puede incrementar la proporción de germinación (Winkler 2005; Goodge 2009).

Por otra parte, la temperatura regula múltiples procesos germinativos, como la velocidad de imbibición, la liberación de electrolitos, la movilización de reservas y el vigor de las plántulas. Estos efectos se deben a su influencia directa sobre la cinética de las reacciones bioquímicas, lo cual impacta la uniformidad y éxito del establecimiento vegetal (Pellizaro Moresco 2021; Pacheco *et al.* 2013; Ataíde *et al.* 2013). Por ello, es fundamental determinar las condiciones térmicas óptimas para evaluar el vigor y éxito germinativo, ya que estos factores condicionan la supervivencia de las especies en su entorno (Pellizaro Moresco 2021; Marcos 2015).

Con base en lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes temperaturas y niveles de humedad sobre la germinación de semillas de *Guzmania stenostachya*, *Guzmania glomerata* y *Werauhia macrochlamys*, así como determinar el número de días requeridos para su germinación en cada tratamiento experimental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y especies

Este estudio se realizó con semillas de bromelias epífitas recolectadas en la Reserva Forestal Fortuna (RFF), provincia de Chiriquí, Panamá, en poblaciones naturales

ubicadas a lo largo del sendero Jorge L. Araúz, en los sectores de Palo Seco y El Lazo. La fase de laboratorio se llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Chiriquí, mientras que los ensayos de campo se implementaron en un gradiente altitudinal dentro de la RFF (1200, 900 y 500 m s.n.m.).

Se seleccionaron tres especies epífitas: *Guzmania glomerata*, *Guzmania stenostachya* y *Werauhia macrochlamys*, las cuales presentan distintas características morfológicas y fisiológicas relevantes para el estudio de su germinación bajo diferentes condiciones ambientales.

### Ensayos en laboratorio

Se establecieron dos experimentos independientes en cámaras de crecimiento para evaluar el efecto de (a) la disponibilidad hídrica y (b) la temperatura sobre la germinación.

Previo a la siembra, las semillas fueron desinfectadas siguiendo los protocolos de Correa & Zotz (2014) y Müller *et al.* (2017): se les retiró el apéndice plumoso, se trataron con alcohol al 70 % durante dos minutos, con hipoclorito de sodio al 2 % por cinco minutos, y se enjuagaron con agua destilada estéril. Luego se sembraron en platos Petri con papel filtro humedecido con 2 ml de agua destilada, dentro de una cámara de flujo laminar esterilizada. En cada tratamiento, se colocaron 20 semillas por plato, con cinco réplicas por especie (100 semillas por especie y tratamiento).

a) Regulación hídrica: Las semillas se incubaron a una temperatura constante de 23 °C y se sometieron a tres regímenes de hidratación: (1) riego diario hasta la germinación, (2) riego solo durante los primeros 20 días, y (3) riego solo durante los primeros 10 días. En total se sembraron 900 semillas (3 especies × 3 tratamientos × 100 semillas).

b) Temperatura: Las semillas se regaron diariamente en todos los tratamientos y se incubaron a tres temperaturas constantes: 23 °C, 26 °C y 29 °C. Se empleó el mismo diseño experimental, totalizando 900 semillas nuevamente.

Ambos experimentos se llevaron a cabo en cámaras climáticas Kenton® con un fotoperíodo de 12 horas luz / 12 horas oscuridad. La germinación fue monitoreada diariamente durante 45 días. El éxito germinativo se calculó como el porcentaje de semillas germinadas por placa, considerando el número inicial (20 semillas) por réplica.

### Ensayos en campo

Para evaluar el efecto del aumento térmico en condiciones naturales, se diseñó un experimento de trasplante altitudinal. Las semillas recolectadas en la RFF (1200 m s.n.m.) fueron sembradas en tres sitios: 1200 m (control), 900 m y 500 m s.n.m. En cada sitio, se seleccionaron árboles hospedero y se fijaron 16 semillas por especie, adheridas con goma fría al remanente del apéndice plumoso. Cada altitud incluyó un total de 64 semillas por especie (192 por sitio, 576 en total). El monitoreo de germinación se realizó cada tres días durante 45 días.

Las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, radiación y precipitación) fueron registradas mediante sensores automáticos HOBO®, instalados en cada sitio experimental para caracterizar los microclimas asociados a la altitud.

### Análisis de datos

Los datos de germinación, expresados en porcentajes, fueron analizados mediante modelos lineales generalizados de efectos mixtos (GLMM) usando el paquete nlme en R (versión 4.3.2). En todos los modelos, se incluyó como efecto fijo el factor experimental (tratamiento hídrico, temperatura o sitio) y como efecto aleatorio la especie, para controlar la variabilidad interespecífica. La significancia de los efectos se evaluó mediante pruebas t de Wald sobre los coeficientes ajustados. Los modelos fueron ajustados por máxima verosimilitud (ML), y se reportaron los valores de AIC, coeficientes fijos, errores estándar y valores p. La validez de los modelos fue evaluada visualmente a partir de los residuos estandarizados.

## RESULTADOS

El análisis del experimento de regulación hídrica mediante un modelo lineal mixto no reveló un efecto significativo del tratamiento sobre la germinación de las semillas ( $\beta = -0,059$ ;  $p = 0,677$ ). A pesar de que el modelo presentó un ajuste adecuado (AIC = 308,03), las diferencias entre los grupos con riego continuo, riego durante 20 días y riego durante 10 días no alcanzaron significancia estadística (Fig. 1A).

El análisis del efecto de la temperatura sobre la germinación de bromelias epífitas mostró un patrón marcadamente negativo (Fig. 1B), con una reducción significativa del porcentaje de germinación a medida que aumentó la temperatura ( $\beta = -8,44$ ;  $p < 0,001$ ).

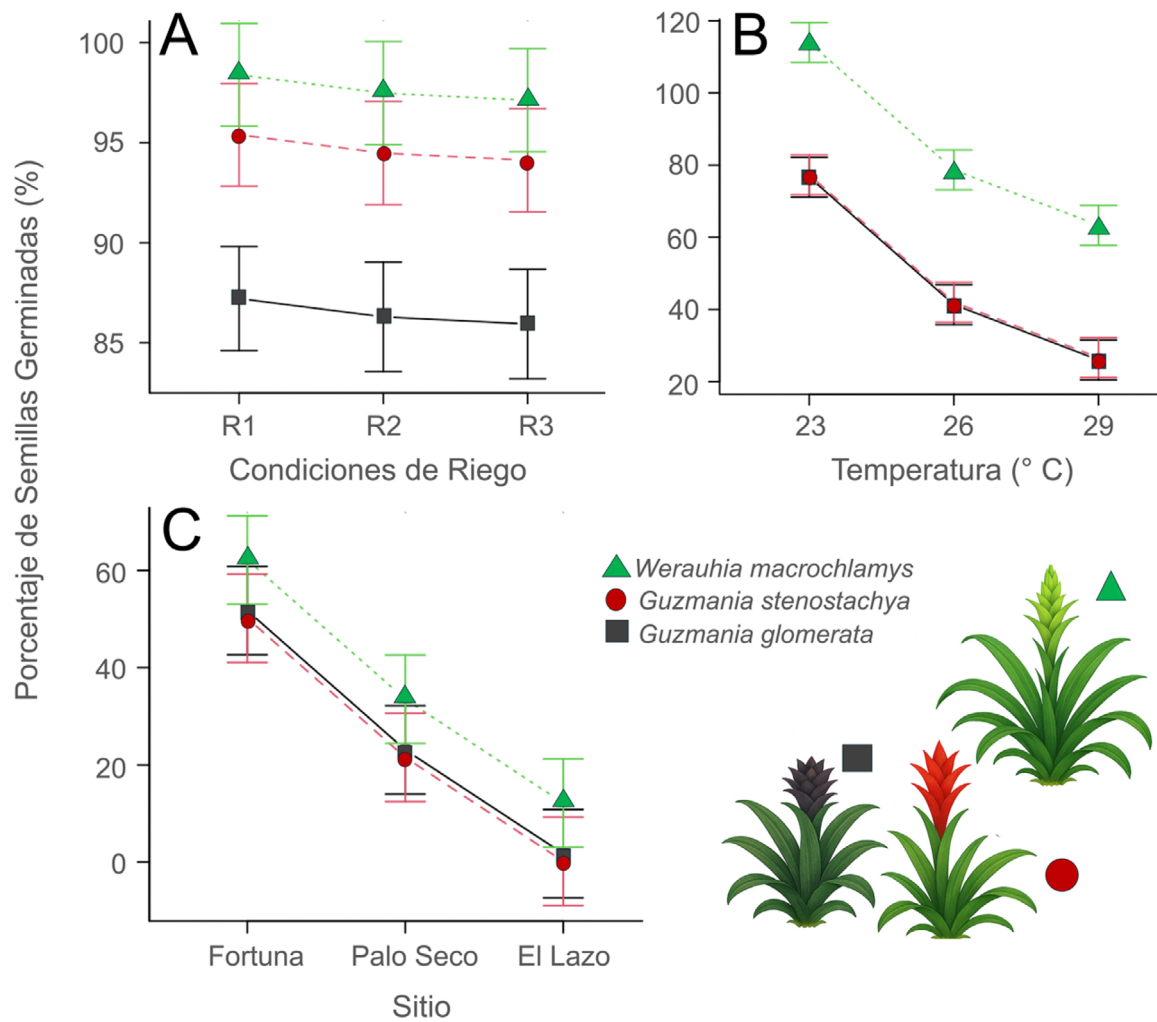


**FIGURA 1.** (A.) Germinación de *Werauhia macrochlamys*, *Guzmania stenostachya* y *Guzmania glomerata* bajo tres condiciones de riego de agua. Tratamiento R1 representa riego diario hasta la germinación, tratamiento R2 representa riego solo durante los primeros 20 días y tratamiento R3 representa riego solo durante los 10 primeros días. (B.) Germinación de *Werauhia macrochlamys*, *Guzmania stenostachya* y *Guzmania glomerata* bajo distintas condiciones de temperatura a los 23 °C, 26 °C y 29 °C. (C.) Germinación de *Werauhia macrochlamys*, *Guzmania stenostachya* y *Guzmania glomerata* tras su trasplante en tres sitios a lo largo de un gradiente altitudinal: Fortuna 1200 m (control), Palo Seco 900 m y Lazo 500 m s.n.m. Nota: Los gráficos presentan medias ajustadas del modelo con sus intervalos de confianza. / (A.) Germination of *Werauhia macrochlamys*, *Guzmania stenostachya*, and *Guzmania glomerata* under three irrigation conditions. Treatment R1 represents daily irrigation until germination, treatment R2 represents irrigation only during the first 20 days, and treatment R3 represents irrigation only during the first 10 days. (B.) Germination of *Werauhia macrochlamys*, *Guzmania stenostachya*, and *Guzmania glomerata* under different temperature conditions at 23 °C, 26 °C, and 29 °C. (C.) Germination of *Werauhia macrochlamys*, *Guzmania stenostachya*, and *Guzmania glomerata* after transplanting at three sites along an altitudinal gradient: Fortuna 1200 m (control), Palo Seco 900 m, and Lazo 500 m a.s.l. Note: The graphs present adjusted model means with their confidence intervals.

Específicamente, el sitio de mayor altitud (Reserva Forestal Fortuna (RFF), 1200 m s.n.m.) presentó los mayores valores de germinación, mientras que a menor altitud (Palo Seco (PS) a 900 m y Sendero El Lazo (EL) a 500 m), los porcentajes disminuyeron de forma marcada, replicando la tendencia observada en los ensayos de temperatura en laboratorio (Fig. 1C).

## DISCUSIÓN

### Germinación por estrés hídrico

El valor promedio de germinación fue elevado (intercepto = 94,18), y la variación entre especies se mantuvo baja (desvío estándar del efecto aleatorio = 4,25), lo que sugiere un patrón generalizado de respuesta positiva a la germinación bajo condiciones controladas. La dispersión residual también fue relativamente baja, lo que indica consistencia entre réplicas.

No obstante, se observaron diferencias en la germinación entre especies, siendo *Werauhia macrochlamys* y *Guzmania stenostachya* las que presentaron porcentajes germinativos superiores en comparación con *G. glomerata*. Este patrón sugiere que algunas especies poseen mecanismos fisiológicos que les permiten germinar de manera más eficiente incluso bajo condiciones de humedad limitada, una estrategia adaptativa relevante en hábitats donde la disponibilidad de agua es altamente variable. Estas observaciones son congruentes con lo reportado por dos Santos (2023), quien documenta respuestas específicas al estrés hídrico entre bromelias epífitas del mismo género. En el caso de *Tillandsia flexuosa*, se ha observado una alta resistencia a la sequía en etapas tempranas de desarrollo, en contraste con *T. fasciculata*, más sensible a condiciones secas (Bader 2009).

La literatura sugiere que la germinación de especies epífitas está estrechamente ligada a condiciones microclimáticas particulares (García *et al.* 2006; Winkler 2005; Correa & Zotz 2014). La ausencia de un efecto significativo del tratamiento hídrico en este estudio puede explicarse por el hecho de que todos los tratamientos incluyeron hidratación durante al menos los primeros 10 días a 23 °C, periodo en el cual se activaron los procesos germinativos. De hecho, la mayoría de las semillas germinaron entre los días 10 y 11, lo que sugiere que la fase crítica del proceso ocurrió antes de que se manifestaran condiciones limitantes de humedad. Esto

apunta a una alta capacidad de respuesta inicial al agua disponible, un rasgo que ha sido identificado como crucial para la supervivencia en ambientes con humedad episódica (Pellizaro Moresco 2021; Baskin & Baskin 1998). En conjunto, estos hallazgos apoyan la hipótesis de que ciertas bromelias epífitas poseen mecanismos de tolerancia temprana al estrés hídrico que podrían ser clave en su éxito ecológico frente a escenarios de cambio climático.

### Germinación por temperatura

En promedio, un incremento de 3 °C y 6 °C por encima de la temperatura óptima (23 °C) redujo el éxito germinativo en más del 50 % en ambas especies de *Guzmania*, mientras que en *Werauhia macrochlamys*, aunque también disminuyó la germinación, se mantuvo por encima del 70 % (Fig. 1B). El modelo lineal mixto evidenció una relación inversa clara entre temperatura y germinación, lo que indica que las temperaturas más altas comprometen de forma severa la viabilidad germinativa, especialmente en especies sensibles como *G. glomerata* y *G. stenostachya*. Estos resultados se sostienen incluso considerando la variabilidad entre especies (desvío estándar del efecto aleatorio = 16,89).

Este patrón coincide con lo señalado por Pellizaro Moresco *et al.* (2021), quienes indican que cada especie presenta un rango térmico óptimo para la germinación, siendo 23 °C la temperatura que maximiza el porcentaje y reduce el tiempo hasta la emergencia de plántulas. Además, se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas aplicadas ( $p < 0.001$ ), con una tendencia clara: a mayor temperatura, menor porcentaje de germinación. Este comportamiento sugiere que incluso incrementos térmicos moderados, como los proyectados bajo escenarios de cambio climático, podrían afectar negativamente el reclutamiento natural de ciertas bromelias. Sin embargo, la mayor tolerancia observada en *W. macrochlamys* podría reflejar una mayor amplitud del nicho térmico germinativo, atributo asociado a especies con mayor plasticidad ecológica (Fernández-Pascual *et al.* 2013; Donohue *et al.* 2010).

Por otro lado, aunque el porcentaje de germinación se mantuvo relativamente alto en *W. macrochlamys* bajo temperaturas elevadas, se observó un aumento en el tiempo requerido para la germinación, lo que sugiere la activación de mecanismos de latencia o ralentización fisiológica. Este efecto ha sido documentado en diversas especies, donde la temperatura no solo modula el éxito

germinativo, sino también la duración del proceso, influenciado por la actividad enzimática y las tasas metabólicas (Valadares & Paula 2008; Ferreira *et al.* 2008). La temperatura es, por tanto, una de las dimensiones más críticas del nicho de germinación (Baskin & Baskin 1998; Benech-Arnold & Sánchez 1995), y su alteración puede afectar la regeneración natural, especialmente en especies con nichos térmicos estrechos. Así, nuestros resultados refuerzan la idea de que el aumento de temperatura representa una amenaza concreta para la regeneración de bromelias epífitas, aunque con diferencias interespecíficas que podrían influir en futuras distribuciones altitudinales o en la resiliencia de las poblaciones.

### Germinación en campo

Para corroborar los resultados obtenidos en condiciones controladas, se evaluó también la germinación en condiciones naturales de campo a lo largo de un gradiente altitudinal. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en el porcentaje de germinación entre las especies estudiadas ( $p = 0,435$ ), pero sí se detectaron diferencias altamente significativas entre los sitios experimentales ( $p < 0,001$ ).

Por ejemplo, *Werauhia macrochlamys* alcanzó un 64 % de germinación en la RFF entre los días 11 y 16, un porcentaje menor que el registrado bajo condiciones controladas, incluso en tratamientos de estrés hídrico o a temperaturas de 26 y 29 °C. En Palo Seco, esta especie alcanzó apenas un 34 % en el mismo rango de tiempo, y en Sendero El Lazo solo un 9 %. De manera similar, *Guzmania stenostachya* mostró un 47 % en la RFF, pero solo 22 % en PS y 3 % en EL. *G. glomerata*, por su parte, alcanzó 53 % en la RFF entre los días 11 y 16, pero en PS logró 22 % y en EL apenas 1 %. Estas reducciones en campo confirman que factores ambientales, como la temperatura, humedad y presión de vapor, inciden significativamente sobre el éxito germinativo, incluso en especies que mostraron alta germinación bajo condiciones controladas.

Las condiciones ambientales en campo imponen múltiples restricciones al establecimiento de plántulas, desde la competencia por microhábitats favorables hasta la depredación directa de semillas, un factor documentado como causa importante de mortalidad en etapas tempranas (Wenny 2000). Además, el microambiente creado por el árbol hospedero también puede condicionar el éxito germinativo, ya que las

bromelias epífitas muestran patrones de afinidad por ciertas especies arbóreas que ofrecen mejores condiciones de luz, humedad y estructura del sustrato (Callaway *et al.* 2001; Martin 2024).

Los resultados aquí presentados también muestran que, en comparación con el laboratorio, la germinación en campo es más lenta y menos eficiente. En estudios previos se ha observado que algunas bromelias pueden iniciar la germinación tan solo tres o cuatro días después de la hidratación en condiciones óptimas (Mantovani & Iglesias 2005; Paulo & Paula 2018), mientras que en campo, las condiciones fluctuantes y la menor disponibilidad hídrica pueden inducir estados de latencia o extender la fase germinativa. Tal como señalan Xiao *et al.* (2007) y Donohue *et al.* (2010), una germinación rápida podría ser ventajosa cuando las condiciones iniciales permiten el establecimiento, pero en ambientes impredecibles la latencia también representa una estrategia adaptativa. De esta forma, tres dimensiones clave determinan el valor adaptativo del comportamiento germinativo: como vía de escape ante condiciones desfavorables del banco de semillas, como cobertura ante entornos inciertos sobre el suelo, o como respuesta sensible a señales ambientales óptimas (Baskin & Baskin 1998).

### CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que la germinación de bromelias epífitas está fuertemente influenciada por la temperatura y las condiciones ambientales, mientras que la disponibilidad hídrica durante los primeros días del desarrollo no mostró efectos significativos bajo condiciones controladas. Las tres especies evaluadas, *Guzmania glomerata*, *G. stenostachya* y *Werauhia macrochlamys*, presentaron una respuesta germinativa óptima a 23 °C, con una marcada disminución a medida que la temperatura se incrementó. En campo, esta tendencia se confirmó mediante el descenso significativo de la germinación en sitios de menor altitud, donde las temperaturas fueron más elevadas. Aunque *W. macrochlamys* mostró mayor tolerancia térmica relativa, las especies del género *Guzmania* fueron particularmente sensibles, lo que sugiere una vulnerabilidad diferenciada frente al cambio climático.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de la temperatura como dimensión crítica del nicho germinativo en bromelias epífitas, y subrayan la necesidad de considerar las etapas tempranas del ciclo de vida en estudios de respuesta ecológica al cambio ambiental. Asimismo, se evidencia el potencial de estas especies como bioindicadores funcionales, dado que su éxito germinativo responde de manera predecible a variables climáticas. En conjunto, los resultados aportan información relevante para entender las restricciones ecológicas que podrían condicionar el reclutamiento natural de estas plantas en escenarios futuros, y constituyen una base valiosa para estrategias de conservación orientadas a especies sensibles a la variabilidad térmica en ecosistemas neotropicales.

### AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo agradece a SENACYT por el financiamiento del proyecto FIED21-014, a René Araúz por el apoyo continuo, Carlos Espinoza por el apoyo en la estación de Fortuna y al personal de Mi Ambiente de la estación de Palo Seco.

### REFERENCIAS

- Bader, M., Menke, G., Zotz, G. 2009. Pronounced drought tolerance characterizes the early life stages of the epiphytic bromeliad *Tillandsia flexuosa*. *Functional Ecology* 23: 472-479. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01547.x>
- Baskin, C.C., Baskin, J.M. 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press.
- Benech-Arnold, R.L., Sánchez, R.A. 1995. Modeling the effects of temperature on germination in seeds of weed species. *Weed Research* 35(3): 281-289.
- Bhatt, A., Daibes, L.F., Gallacher, D.J., Jarma-Orozco, A., Pompelli, M.F. 2022. Water stress inhibits germination while maintaining embryo viability of subtropical wetland seeds: A functional approach with phylogenetic contrasts. *Frontiers in Plant Science* 13: 906771. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.906771>
- Callaway, R.M., Reinhart, K.O., Tucker, S.C., Pennings, S.C., Dunham, M. 2001. Epiphyte host preferences and host traits: mechanisms for species-specific interactions. *Oecologia* 128(3): 389-398.
- Correa, S., Zotz, G. 2014. The influence of collecting date, temperature and moisture regimes on the germination of epiphytic bromeliads. *Seed Science Research* 24(4): 353-363. <https://doi.org/10.1017/S0960258514000312>
- Donohue, K., Rubio de Casas, R., Burghardt, L., Kovach, K., Willis, C.G. 2010. Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41: 293-319.
- Dos Santos, A., Braz, M., De Barros, D., De Cássia Quitete Portela, R., De Mattos, E. 2023. Sensitivity of seed germination to water stress in high-altitude populations of a threatened palm species. *Plant Biology*. <https://doi.org/10.1111/plb.13527>
- Fernández-Pascual, E., et al. 2013. Climatic and phylogenetic correlates of seed germination speed in Mediterranean plants: evolutionary implications. *New Phytologist* 198(1): 464-472.
- Ferreira, A.G., Matos, F.S., Sales, F. de J., Pacheco, S.O. 2008. Germinação de sementes e crescimento inicial de *Dyckia* spp. sob influência da temperatura. *Revista Brasileira de Sementes* 30(1): 10-18.
- García, M., Cruz, M.A., Hernández, G. 2006. Germinación de semillas en bromelias epífitas: mecanismos morfológicos y fisiológicos. *Revista de Biología Tropical* 54(3): 721-730.
- Goode, L., Allen, M. 2009. Seed germination conditions and implications for establishment of an epiphyte, *Aechmea bracteata* (Bromeliaceae). *Plant Ecology* 204: 179-188. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9582-7>
- Hegarty, T., Ross, H. 1980. Investigations of control mechanisms of germination under water stress. *Israel Journal of Botany* 29: 83-92. <https://doi.org/10.1080/0021213X.1980.10676878>
- Mantovani, A., Iglesias, R.R. 2005. Seed germination of selected bromeliads under controlled conditions. *Acta Botanica Brasílica* 19(4): 789-794.
- Martin, A., Velásquez, H., Lezcano, D. 2024. Factores ambientales que influyen a nivel fisiológico en la germinación de semillas de bromelias. *Revista Científica Vida Natural* 2(1): 70-81. <https://doi.org/10.59722/rcvn.v2i1.654>
- Martin, M.A. 2024. Host tree specificity and microclimatic modulation in bromeliad epiphyte colonization. *Journal of Tropical Ecology* 40(1): 55-65.
- Pellizaro Moresco, V., Omura, M., Paula, J., Furlan, F., Takahashi, L. 2021. Physiological potential of *Dyckia* spp. bromeliad seeds under different temperatures. *Semina: Ciências Agrárias* 42(5): 2639-2650. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021V42N5P2639>
- Nunez, S., Arets, E., Alkemade, R., Verwer, C., Leemans, R.

2019. Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2 °C enough? *Climatic Change* 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02420-x>
- Ravikumar, P., Chetan D.M., Abhilash, K.B., Raghupathi, A. 2018. To find the efficacy of crude extract from plants on germination of seeds. *International Journal of Phytomedicine*. <https://doi.org/10.5138/09750185.2226>
- Paulo, D.V., Paula, R.C. 2018. Germinação de sementes de *Aechmea bambusoides* sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Biociências* 16(1): 42-48.
- Valadares, R.B.S., Paula, R.C. 2008. Influência da temperatura na germinação de sementes de espécies nativas do Cerrado. *Científica* 36(2): 118-124.
- Wenny, D.G. 2000. Seed dispersal, seed predation, and seedling recruitment of a neotropical montane tree. *Ecological Monographs* 70(2): 331-351.
- Winkler, M., Hülber, K., Hietz, P. 2005. Effect of canopy position on germination and seedling survival of epiphytic bromeliads in a Mexican humid montane forest. *Annals of Botany* 95(6): 1039-1047. <https://doi.org/10.1093/aob/mci115>
- Winkler, U. 2005. Humidity and germination in epiphytic bromeliads: implications for habitat selection. *Biotropica* 37(1): 93-100.
- Xiao, Z., Zhang, Z., Wang, Y. 2007. Effects of seed size on dispersal distance in five rodent-dispersed tree species. *Acta Oecologica* 32(2): 125-132.