

Efecto del estrés hídrico sobre la germinación y crecimiento de plántula de semillas del árbol de Cachichin (*Oecopetalum mexicanum*)



Colaboración

José Guillermo Franzua-Perdomo; Melissa Paola Gracia-Anaya; Gabriel Grosskelwing-Nuñez; Arturo Cabrera-Vázquez, Arturo Cabrera-Hernández, Tecnológico Nacional de México / campus Misantla

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 08 de abril de 2024

RESUMEN: El árbol de Cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), nativo de las regiones serranas del sureste mexicano produce un fruto comestible con alto contenido de aceite de relevancia local. Este estudio se enfocó en mejorar su propagación mediante la evaluación de los efectos de almacenamiento y pérdida de humedad de la semilla sobre el crecimiento de sus plántulas. Semillas recién cosechadas fueron secadas a temperatura ambiente y sembradas a intervalos de una semana en invernadero, sujetas a tres niveles de riego con soluciones acuosas conteniendo concentraciones de 0, 50 y 100 mg/L de ácido gibberélico (GA_3). La emergencia de plántulas (EP) alcanzó el 90% en semillas frescas, pero disminuyó severamente con el almacenamiento y la reducción de humedad. Aunque la adición de GA_3 tuvo un leve impacto positivo en la EP, acortó el tiempo de emergencia. No se detectaron diferencias significativas en longitud de raíz ni área foliar, solo una ligera reducción en longitud del tallo. Se infiere un comportamiento recalcitrante para las semillas de Cachichín debido a su alta sensibilidad al secado y su limitada respuesta al GA_3 , aspecto crucial para programas de propagación.

PALABRAS CLAVE: Cachichin, *Oecopetalum mexicanum*, semilla recalcitrante, ácido gibberélico.

ABSTRACT: The Cachichin tree (*Oecopetalum mexicanum*), native to the mountain regions of southeastern Mexico, produces an edible fruit with high oil content of local relevance. This study focused on improving its propagation by evaluating the effects of seed storage and moisture loss on the growth of its seedlings. Freshly harvested seeds were dried at room temperature and sown at one-week intervals in a greenhouse, subject to three levels of irrigation with aqueous solutions containing concentrations of 0, 50 and 100 mg/L of gibberellic acid (GA_3). Seedling emergence (SE) reached 90% in fresh seeds, but decreased severely with storage and humidity reduction. Although the addition of GA_3 had a slight positive impact on SE, it shortened the emergence time. No significant differences were detected in root length or leaf area, only a slight reduction in stem length. A recalcitrant behavior is inferred for Cachichin seeds due to their high sensitivity to drying and their limited response to GA_3 , a crucial aspect for propagation programs.

KEYWORDS: Cachichín, *Oecopetalum mexicanum*, recalcitrant seed, gibberellic acid.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los ecosistemas terrestres enfrentan considerables desafíos debido a los efectos del cambio climático, las problemáticas ambientales globales y las actividades humanas [1]. Esta situación compromete el delicado equilibrio entre la integridad de los ecosistemas y la composición vegetal, poniendo en riesgo la supervivencia de numerosas especies vegetales [2]. Uno de los ecosistemas con mayor riesgo de modificar o perder su biodiversidad son los bosques tropicales los cuales sostienen y albergan al menos

dos tercios de la biodiversidad del mundo a pesar de cubrir solo el 10% de la superficie terrestre [3,4]. Este riesgo se ve agravado por la ubicación de estos bosques en países en desarrollo, donde la gestión de los recursos naturales no siempre se alinea con los objetivos de desarrollo económico [5]; por consiguiente es imperativo establecer estrategias locales para la gestión sostenible de los recursos naturales que concilien el cuidado de los ecosistemas con el desarrollo socioeconómico y cultural de las comunidades locales a fin de fortalecer las economías locales y preservar la biodiversidad [6].

El Cachichín (*O. mexicanum*) es una especie de la familia Metteniusaceae distribuida desde Veracruz hasta Costa Rica, cuyo fruto contiene una almendra comestible de forma ovoide, blanda, blanca y de sabor amargo con un alto contenido de aceite, la cual se desarrolla en bosques primarios en ecotonos de bosque caducifolio y selva alta perenifolia. En la región de Misantla, Veracruz, México, se consume hervida y tostada y se comercializa de manera local [7]. Su manejo, uso y conservación ha sugerido incluirla como "especie vegetal cultural clave", por el importante papel ecológico, nutricional, social y económico que tiene para los habitantes de la región biocultural de Misantla [8].

El árbol aún se encuentra en estado silvestre, aunque empieza a estar sujeto a domesticación a través del desarrollo de cachichinales, un sistema de manejo que permiten promover el cultivo, la protección y la explotación de esta especie en su propio ecosistema. A la fecha se ha establecido la composición y propiedades físico-químicas de la semilla [9], el nivel de toxicidad aguda-oral de su aceite [10], la anatomía y resistencia de la madera del árbol [11], su importancia cultural y ecológica [12] así como potenciales propiedades antifúngicas de sus extractos etanólicos [13], sin embargo, un aspecto fundamental del uso, aprovechamiento, conservación y propagación de esta especie es establecer el modelo de comportamiento de la semilla durante la germinación y el crecimiento de la plántula.

Hernández-Mora y colaboradores reportan un porcentaje de germinación del 8% con tiempos de germinación de 30 a 35 días aplicando un tratamiento pregerminativo de hidratación de 12 a 24 horas para acelerar y sincronizar el proceso [9,14]. Estudios en campo sobre las prácticas de propagación de esta especie reportan la dificultad de los productores para lograr su germinación, por lo anterior, es necesario establecer el comportamiento germinativo de la semilla de Cachichín posterior a su disseminación, y su habilidad para permanecer en latencia o desarrollar resistencia al estrés hídrico, aspectos fundamentales para el establecimiento de programas de propagación y cultivo exitosos [15].

El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar la tolerancia a la deshidratación de esta semilla durante la germinación así como el efecto en la respuesta a la emergencia y el crecimiento de la plántula, aspectos fundamentales para el establecimiento de programas de propagación y conservación de esta especie a largo plazo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico

Las semillas de Cachichín fueron recolectadas de árboles adultos saludables en la localidad de Vicente Guerrero (19° 51' 52.36" Norte, 96° 50' 37.89" Oeste), municipio de Misantla, Veracruz, México. Un total de 800 semillas fueron recolectados en la mañana por habitantes de la región. Por su dispersión balística, fue factible estandarizar el punto de maduración al recolectar semillas de Cachichín recién desprendidas del árbol, caracterizadas por el color verde de las semillas y un anillo rojo en el extremo donde se desprendió la semilla. Las semillas fueron transportados al laboratorio en bolsas de plástico. Cada semilla fue caracterizada biométricamente empleando una balanza analítica Mettler, modelo AE166 y se midió su diámetro axial y radial con ayuda de un vernier electrónico digital, marca Vizbrite.

Acondicionamiento de semillas

A fin de garantizar una representación equitativa de las semillas recolectadas, se realizó un muestreo por estratificación simple al azar, obteniendo 24 lotes de 33 semillas cada uno, las cuales se colocaron sobre papel filtro en charolas abiertas de plástico con dimensiones de 60 x 40 cm, en charolas y se secaron de forma natural en condiciones ambientales (humedad relativa de 55% a 70% y temperatura entre 26°C y 32 °C). Grupos de tres lotes fueron seleccionados y sembrados semanalmente en tierra conforme a las directrices del diseño experimental.

Secado de las semillas de Cachichín

Muestras de tres semillas tomadas al azar para cada uno de los 24 lotes se les determino el perfil de pérdida de humedad por diferencia de peso a intervalos de seis horas durante los primeros seis días, y a intervalos de 24 horas por los siguientes 9 días. Los datos del porcentaje de humedad obtenido fueron ajustados a cuatro modelos de secado previamente aplicados al secado de semillas: modelo de Lewis; modelo de Henderson y Pabis, modelo de Page y Avhad así como el modelo de Marchetti [16], aplicando mínimos cuadrados no lineales optimizados con algoritmos genéticos con población inicial de 120 individuos, 100 generaciones, probabilidad de cruce del 80% y probabilidad de mutación de 0.1. Para evaluar la calidad del ajuste se aplicaron la prueba de bondad de ajuste de Xi cuadrada y se determinó el coeficiente de determinación, media del error absoluto y error estándar de estimación.

Finalmente, cada semilla se les determino el contenido de humedad residual aplicando el método gravimétrico AOAC 925.10, basada en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante [17].

la fórmula del área de una elipse: $\text{Área} = \pi * a * b / 4$, donde "a" y "b" son la longitud del eje mayor y menor de cada hoja, respectivamente.

Diseño experimental en parcelas divididas

El diseño experimental evaluó los efectos de dos variables de entrada, humedad residual de semilla y la concentración de ácido giberelico sobre cuatro variables de salida, porcentaje de plántulas que emergen de la superficie del suelo (la cual fue considerada como semilla germinada), longitud de tallo, longitud de raíz y área foliar de la plántula. Se propuso un diseño experimental en parcelas divididas (split-plot), el cual tiene el siguiente modelo matemático:

$$y = \mu + \alpha_1 + \omega_{(i)} + \beta_k + \alpha\beta_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde $\omega_{(i)}$ corresponde al efecto del i-esimo nivel del factor de parcela y corresponde al error de parcela. β_k corresponde al factor tiempo.

Sin considerar la media general, estos primeros dos efectos se refieren a la parcela. Los últimos tres corresponden a la subparcela, donde α_i es el efecto del j-ésimo nivel del factor de tratamiento. Para el caso de estudio, se considera como factor de parcela el intervalo entre su cosecha y el momento de su siembra. El factor de bloque es el tratamiento hormonal. Se propusieron 8 niveles para el factor de parcela, cada uno de ellos integrado por tres unidades experimentales (Tabla 1) Los diferentes estratos se establecieron de manera independiente a intervalos de siembra de siete días durante el curso de tiempo que duró el estudio experimental.

Para el caso del factor de bloque, se integraron 24 unidades experimentales, en grupos de 30 macetas (A, B, C), cada una con tres semillas de Cachichín. Las macetas del grupo A fueron sometidas a un régimen de riego con agua purificada. El grupo B se regó con una solución acuosa de 50 mg/L de BIOGIB 10PS, un estimulante de crecimiento vegetal hecho a base de ácido giberélico (GA_3) (Arysta lifescience México, S.A. de C.V.) y el grupo C con solución acuosa de 100 mg/L de BIOGIB 10PS.

Análisis estadísticos

Para el análisis de la emergencia de plántulas a partir de semillas de Cachichín se evaluaron el porcentaje de emergencia y el tiempo medio de emergencia de la plántula (17) se aplicó la siguiente ecuación:

$$TMEP = (T1N1 + T2N2 + \dots + TnNn) / N$$

Donde:

TMEP: Tiempo medio de emergencia de plántula.

Tn = número de días transcurridos desde el inicio del cultivo hasta el día n

Nn= número de plántulas que emergieron hasta el día n

N = número total de plántulas que emergieron.

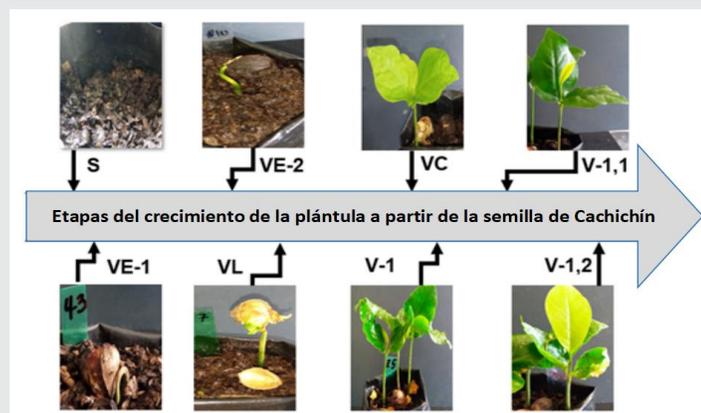


Figura 1. Estadios de desarrollo durante la germinación y crecimiento inicial de la plántula de Cachichin (*O. mexicanum*). Se muestran imágenes de las etapas de desarrollo desde la siembra de la semilla (S) hasta su fase vegetativa (V), abarcando la emergencia del coleóptilo sobre la superficie del suelo (VE-1; VE-2), la emergencia de los cotiledones dentro de la cubierta seminal (VL), despliegue de cotiledones para formar hojas embrionarias (VC) y la aparición del primer nudo y las hojas verdaderas (V1; V1,1; V1,2).

Fuente: Elaboración propia.

Siembra de semillas de Cachichín en tierra

Grupos de tres semillas de Cachichín se sembraron en macetas comerciales de plástico que contenían 800 gramos de tierra a 1 cm de profundidad. La tierra empleada se obtuvo de la localidad de Vicente Guerrero, reconocida por su densidad arbórea de Cachichín y como área de producción de semillas, siendo mezclada mecánicamente previa a su uso.

Las macetas se incubaron bajo condiciones de iluminación y temperatura ambiente dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México (coordenadas geográficas: 19° 57' 01.36" Norte, 96° 50' 37.89" Oeste), altitud de 298 m sobre el nivel del mar, caracterizada por un clima subtropical húmedo con una temperatura media anual máxima promedio de 32 °C y mínima de 22 °C. Se siguió un régimen de riego de tres veces por semana.

Se realizaron observaciones semanales del desarrollo de las plantas hasta la semana 12 después de la siembra (Figura 1, estadio V-1,2). Se considero como germinadas aquellas semillas donde el hipocótilo emergió de la superficie del suelo con los cotiledones (estadio VE-1). Al final de la semana 12, se extrajeron las plántulas del suelo y se midieron la longitud del tallo (desde el suelo hasta el ápice de la última hoja), la longitud de la raíz (desde el suelo hasta el meristemo apical de la raíz) y el área foliar. El área foliar se calculó utilizando

Tabla 1. Matriz de confusión del porcentaje de precisión.

Tiempo de secado (semanas)	Concentración de hormona (mg/L)		
	A	B	C
0	0	50	100
1	0	50	100
2	0	50	100
3	0	50	100
4	0	50	100
5	0	50	100
6	0	50	100
7	0	50	100

Nota: Se definió el factor de parcela como el lapso entre la recolección del fruto de Cachichin y el momento de su siembra (tiempo de secado). El factor de bloque consistió en el tratamiento hormonal con ácido giberélico (GA₃)

El acopio de datos se realizó empleando el programa de EXCEL® 2016, y el análisis estadístico inferencial empleo el software libre "R". Los datos de los diferentes tratamientos se analizaron para evaluar datos atípicos y se comprobó la normalidad aplicando la prueba de Shapiro-Wilks y homocedasticidad con la prueba de Levene. Para determinar si existen diferencias significativas entre la media del control y al menos una de las concentraciones aplicadas, se aplicó el análisis ANOVA (p<0.05). Para determinar qué grupos específicos son significativamente diferentes entre sí se aplicó la prueba post-hoc de Tukey. Las diferencias significativas de medias se señalan con un asterisco en la parte superior de cada punto en la gráfica.

RESULTADOS

Estudio biométrico de las semillas

Se determinó el peso y tamaño para la semilla completa de un total de 2,600 semillas y para un subconjunto de 100 semillas se determinaron estos valores en la almendra. Los resultados se detallan en la Tabla 2, donde se muestra un peso promedio para la semilla completa de 2.2751 gr ± 0.3429 y para la almendra de 1.3374 gr ± 0.2642. Además, se incluyen los valores de diámetro longitudinal, así como el diámetro axial mayor y menor, tanto para la semilla completa como para la almendra, junto con sus respectivos intervalos de variación. También se incluye el valor del grosor de la cascara. Estos hallazgos son consistentes con estudios biométricos previamente reportados [9].

Tabla 2. Análisis biométrico del fruto y almendra de *O. mexicanum*.

	Datos de semillas	Datos de almendra
Peso (gr)	2.2751	1.3374
Longitud (mm)	20.00	14.29
Diámetro axial 1 (mm)	16.13	12.42
Diámetro axial 2 (mm)	14.35	10.45
Grosor de la cascara (mm)	0.84	

Diversos estudios han establecido correlaciones entre diversas variables de la planta o de su hábitat a fin de predecir la sensibilidad de una semilla a la desecación. Daws M.I. y colaboradores [26] han sugerido que las semillas recalcitrantes con sensibilidad a la deshidra-

tación, exhiben características específicas. Estas semillas tienden a tener un tamaño grande, superior a 0.5 g con una forma que varía de esférica a esferoidal. Generalmente se encuentran en hábitats con alta humedad y muestran una baja relación entre la masa de la cubierta (endocarpio y testa) y la masa total de la semilla, conocida como relación SCR. Además, tienden a desprenderse con altos contenidos de agua [25, 26].

Dado el hábitat de alta humedad y el origen tropical del árbol de Cachichín, así como un peso promedio superior a los 2 gramos (Tabla 2), una forma esferoidal y una cubierta delgada con un SRC estimado de 0.4; sugiere en base a estas características que las semillas de Cachichín exhiben un comportamiento recalcitrante, caracterizado por una alta susceptibilidad a la pérdida de humedad, lo cual podría comprometer significativamente su viabilidad así como el proceso de germinación, como se ha observado en otros modelos de semillas recalcitrantes [26]. Lo anterior podría explicar el bajo porcentaje de germinación reportado previamente para estas semillas.

Para evaluar esta hipótesis, se propuso determinar el perfil de secado de esta semilla bajo condiciones ambientales así como la respuesta a la germinación en función de la pérdida de humedad, considerando la emergencia de la plántula como señal de germinación de la semilla.

Secado de la semilla de Cachichín

La Figura 2 presenta el comportamiento del perfil para los datos experimentales del porcentaje de humedad en función del tiempo de secado para la semilla de Cachichín.

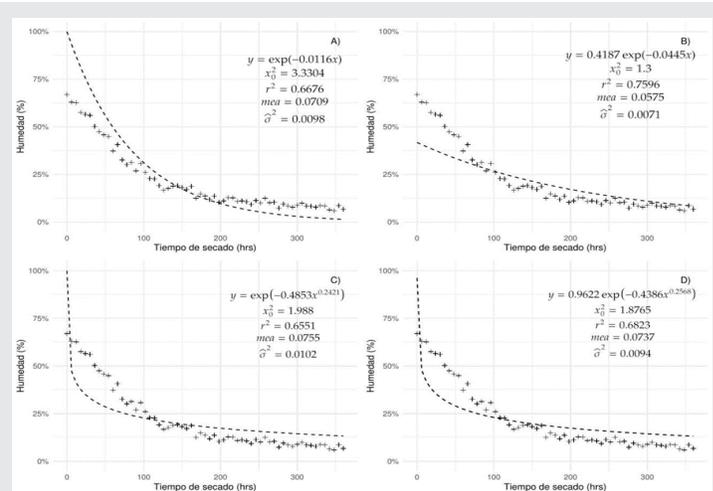


Figura 2: Perfil de la cinética de secado de semillas de Cachichín (*O. mexicanum*). Se presenta el porcentaje de humedad en función del tiempo de secado. La línea punteada representa el ajuste estimado para cuatro modelos de secado; modelo de Lewis (panel A), Henderson and Pabis (panel B), Page y Avhad (panel C) y Marchetti (panel D). Los coeficientes de ajuste numéricos se presentan en el recuadro correspondiente.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa el perfil de ajuste estimado para cuatro modelos de secado; modelo de Lewis (panel A), modelo de Henderson and Pabis (panel B), modelo de Page y Avhad (panel C), y modelo de Marchetti (panel D) así como los valores numéricos de los coeficientes utilizados para evaluar la calidad del ajuste de los datos experimentales a los modelos propuestos (27), los cuales incluyen el coeficiente de ajuste para chi cuadrada (χ_o^2), el coeficiente de determinación (r^2), la media del error absoluto (mea) y el error estándar de estimación ($\hat{\sigma}^2$).

Los datos experimentales revelan un comportamiento no lineal descendente, que comienza con un contenido de humedad alto del 66 % y experimenta una pérdida sustancial en los primeros cuatro días. Después de 150 horas (6 días), el perfil cinético muestra un comportamiento asintótico, alcanzando un valor aproximado de humedad residual del 11 %. El modelo de Henderson and Pabis demostró la mejor calidad de ajuste, con los valores más bajos de chi cuadrada de ajuste (χ_o^2), media del error absoluto (mea), error estándar de estimación ($\hat{\sigma}^2$) y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.759. Aunque este valor está por debajo del mínimo aceptable de 0.97 sugerido para la cinética de secado de semillas de ricino [18], es importante considerar que las condiciones de secado fueron ambientales y que la semilla experimenta cambios morfológicos y bioquímicos en las etapas iniciales de la cinética de secado, como el cambio de color verde a café en un lapso de 48 horas tras la separación de la semilla del árbol, así como modificaciones en la textura y dureza de la cubierta. Sin embargo, las condiciones de secado a que fueron sometidas las semillas son similares a las que se encuentra en su hábitat natural.

Potencia de emergencia de plántulas de *O. mexicanum*

Semillas de Cachichín sometidas a secado durante 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 48 días fueron sembradas en tierra y el porcentaje de emergencia de plántulas fue contabilizado durante las siguientes 11 semanas. En la Figura 3, panel A, se presentan las gráficas que muestran el porcentaje de emergencia de plántulas en función del tiempo para cada periodo de secado. Se observa que las semillas sembradas inmediatamente después de la recolección (0 días de secado) alcanzan un porcentaje de emergencia cercano al 90%. Sin embargo, las semillas que fueron sometidas a uno, dos y tres semanas de secado mostraron una disminución en el porcentaje de emergencia por debajo del 30%. Para las semillas sembradas después de cuatro y cinco semanas de secado, los valores de emergencia alcanzados fueron del 11.11% y 3.33%, respectivamente. Para semillas con mayores semanas de secado, no se observaron brotes de plántulas. La relación inversa entre el tiempo de

secado de las semillas y el porcentaje de emergencia de plántulas, sugiere una sensibilidad a la desecación de la semilla de Cachichín posterior a su cosecha, rasgo asociado a un comportamiento recalcitrante de la semilla [19]. Adicionalmente, se observa un retraso en el tiempo medio de emergencia de plántulas (*TMEP*), al incrementarse el periodo de secado de la semilla.

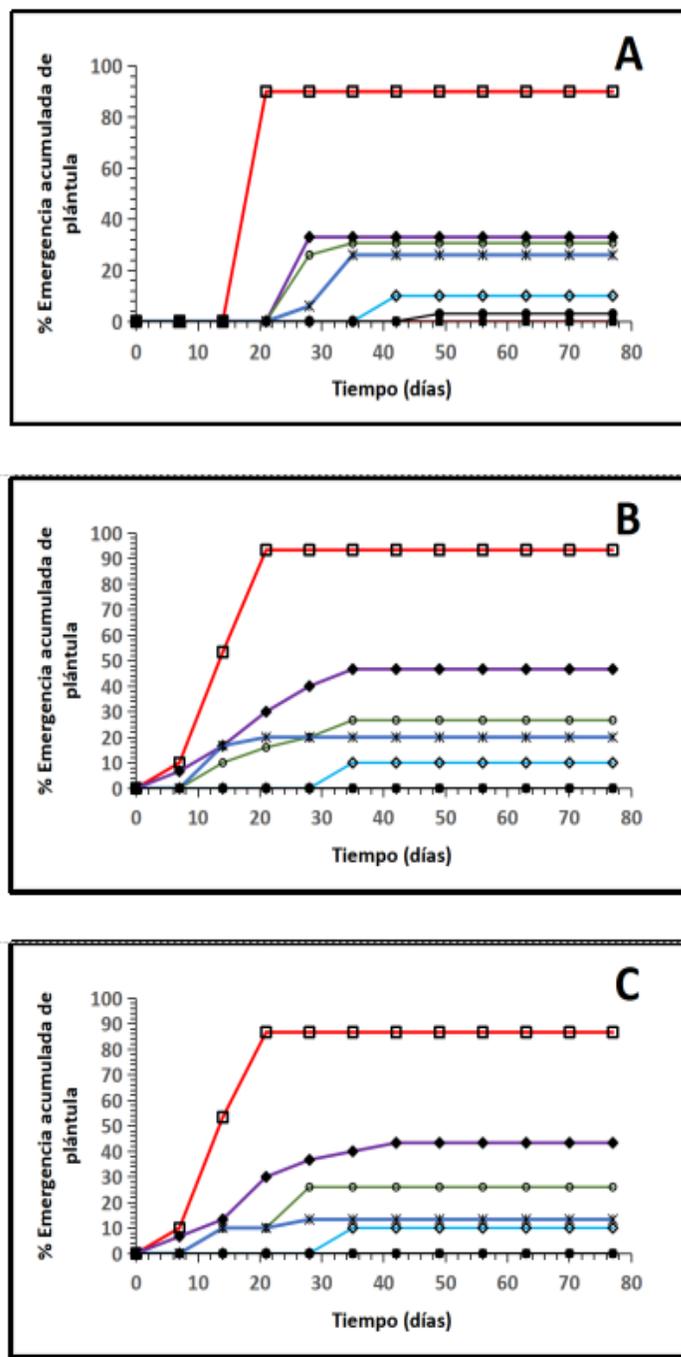


Figura 3. Porcentaje acumulado de emergencia de plántulas de Cachichín para diferentes periodos de secado de la semilla. Los periodos evaluados fueron 0 (□), 7 (◆), 14 (○), 21 (*), 28(◇), 35 (●), 42 (■) y 48 (▲) días, bajo tres tratamientos hormonales: grupo control sin hormona (A), concentración de ácido giberélico (GA₃) a 50 mg/L (B) y 100 mg/L (C).

Fuente: Elaboración propia

En la semana 12 posterior a la siembra de la semilla, las semillas que no germinaron fueron recuperadas y analizadas. En el exterior presentaron buen estado y una cubierta íntegra con su característica dureza; sin embargo, al interior la almendra había perdido su particular consistencia, tornándose en una mezcla espesa de olor desagradable, indicio de la pérdida de viabilidad de la semilla ya que al permanecer por tiempos prolongados de tiempo en tierra con alta humedad, se promueve la proliferación de microorganismos, comportamiento característico de semillas del tipo recalcitrantes que por su alto contenido de humedad limita seriamente su almacenamiento [20, 21].

Efecto de adición de ácido giberélico (AG₃) en la emergencia de plántulas de *O. mexicanum*

El estudio investigó la relación entre la adición de ácido giberélico (AG₃) y la emergencia de plántulas de Cachichín, dada la influencia de esta hormona en la germinación al liberar la latencia de las semillas [22]. Las semillas se sumergieron en soluciones acuosas de AG₃ a concentraciones de 50 y 100 mg /L antes de la siembra (Figura 3B y 3C), adoptando un régimen de riego con estas soluciones. Se observó que para semillas recién recolectadas, los tratamientos con AG₃ no afectaron el porcentaje de emergencia de plántulas (EP) comparado al grupo control (Figura 3A), aunque redujeron el tiempo medio de emergencia (TMEP), observando la emergencia del hipocotilo a los 16 días posteriores a la siembra, comparado a los 21 días que tardó en ausencia de esta fitohormona. Sin embargo, para semillas secadas durante 7 días, se registró un aumento en el porcentaje de germinación con ambos tratamientos de AG₃, alcanzando el 46.67 y 43.33 % de EP en contraste con el 26.67 % obtenido sin la hormona, así como una emergencia más temprana del hipocotilo.

Aunque se mantuvo la temprana aparición de brotes en los tratamientos con AG₃, no se observaron incrementos adicionales en el porcentaje de EP. Los hallazgos presentados discrepan con investigaciones anteriores, donde la aplicación de ácido giberélico (AG₃) ha demostrado fomentar la ruptura de la latencia y estimular la germinación en semillas ortodoxas, como en *Fraxinus hupehensis* [22], así como en semillas con características recalcitrantes, por ejemplo, en *Panax notoginseng*, donde la adición de AG₃ redujo el proceso post-cosecha y promovió la germinación [23]. Una comparación de las concentraciones de AG₃ empleadas en este estudio con las reportadas en la literatura sugiere que la dosis utilizada se sitúa por debajo de los niveles necesarios para que la fitohormona ejerza sus efectos. Es factible que la concentración utilizada en este estudio haya sido insuficiente para facilitar la difusión interna del AG₃ y su consiguiente influencia en el proceso de germinación.

Efecto del secado de la semilla de Cachichín sobre el crecimiento de la plántula

Se investigó el impacto del secado de semillas en tres aspectos del crecimiento de plántulas: longitud de raíz, longitud de tallo y área foliar. En la Figura 4A se obser-

van los valores obtenidos para la longitud de la raíz, esta variable mostró una ligera disminución con el tiempo de secado, pero sin significancia estadística. La adición de las dos concentraciones de fitohormona (AG₃) tampoco promovieron diferencias significativas.

La longitud de tallo mostró una tendencia decreciente no significativa excepto en plántulas proveniente de semillas con cuatro semanas de secado, el cual disminuyó significativamente (Figura 4B).

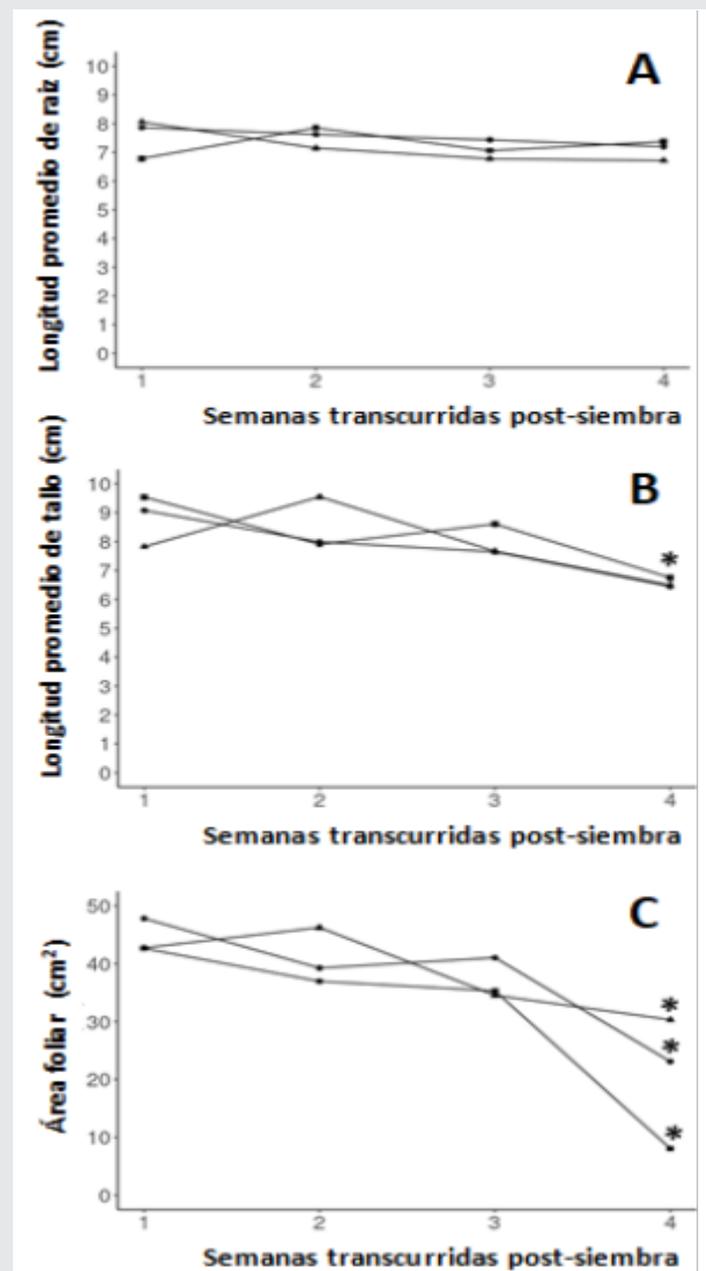


Figura 4. Valores promedio de longitud de raíz (panel A), tallo (panel B) y área foliar (panel C) de plántulas de Cachichín después de 12 semanas post siembra. Plántulas de Cachichín obtenidas a partir de semillas con 1, 2, 3 y 4 semanas de secado fueron tratadas con la concentración de ácido giberélico (GA₃) a 50 mg/L (●), 100 mg/L (■) y sin hormona (▲). Con un asterisco se muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

El área foliar no varió entre plántulas de semillas secadas durante 1, 2 o 3 semanas, con o sin fitohormonas. Sin embargo, las plántulas de semillas secadas durante cuatro semanas mostraron una disminución significativa en el área foliar en comparación con las de menor tiempo de secado, así como una disminución significativa frente a la presencia de hormona. Lo anterior sugiere que la calidad de la plántula no se ve comprometida al perder humedad la semilla, siendo el almacenamiento por cuatro semanas el factor que afecta el área foliar de la plántula.

CONCLUSIONES

El hábitat donde germina la semilla de Cachichin, sus características biométricas y una notable sensibilidad a la desecación que compromete severamente su capacidad para promover la formación de una nueva plántula sugiere que la semilla presenta rasgos que distinguen a las semillas recalcitrantes [24] lo cual se relaciona con los bajos porcentajes de propagación que estudios previos y diversos productores han señalado.

Al presentar estas características, el almacenamiento y la conservación de semillas recalcitrantes representan un desafío ya que requieren métodos especiales para mantener su viabilidad a largo plazo [25]. Las características reportadas en este estudio, deben ser consideradas durante el desarrollo de programas de propagación y reforestación de esta especie, así como para el mantenimiento de la viabilidad de esta semilla en el largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Prakash, S., & Verma, A. K. (2022). *Anthropogenic activities and Biodiversity threats. International Journal of Biological Innovations, IJBI*, 4(1), 94-103.

[2] Nolan, C., Overpeck, J. T., Allen, J. R., Anderson, P. M., Betancourt, J. L., Binney, H. A., ... & Jackson, S. T. (2018). *Past and future global transformation of terrestrial ecosystems under climate change. Science*, 361(6405), 920-923.

[3] Roe, D., Seddon, N and Elliott, J (2019) *Biodiversity loss is a development issue: a rapid review of evidence. International Institute for Environment and Development (IIED) Issue Paper. IIED, London.*

[4] Pillay, R., Venter, M., Aragon-Osejo, J., González-del-Piiego, P., Hansen, A. J., Watson, J. E., & Venter, O. (2022). *Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(1), 10-15.

[5] Giam, X. (2017). *Global biodiversity loss from tropical deforestation. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23), 5775-5777.

[6] Ferrer-Paris, J. R., Zager, I., Keith, D. A., Oliveira-Miranda, M. A., Rodríguez, J. P., Josse, C., González-Gil M., Miller R.M., Zambrana-Torrelli C. & Barrow, E. (2019). *An ecosystem risk assessment of temperate and tropical forests of the Americas with an outlook on future conservation strategies. Conservation letters*, 12(2), e12623.

[7] Lascurain, M., López-Binnquist, C., & Emery, M. R. (2016). *Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico: the case of Oecopetalum mexicanum. Madera y bosques*, 22(3), 11-21.

[8] Lascurain M., López-Binnquist C & Lopez_Acosta J.C. (2018) *El árbol de cachichin (Oecopetalum mexicanum) una especie cultural clave de Veracruz, México. En Rivera,E.S., Valdes E.M., Lascurain, M., & Rodriguez-Luna, E. (Eds.). (2018). De la recolección a los agroecosistemas. Soberanía alimentaria y conservación de la biodiversidad. Univesridad Veracruzana. (pp.225-235).*

[9] Hernández-Mora, A. E., Trejo-Téllez, L. I., Hernández-Cázares, A. S., Contreras-Oliva, A., & Gómez-Merino, F. C. *Cachichín seed (Oecopetalum mexicanum Greenm. & CH Thomps.): Source of nutrients and bioactive compounds.*

[10] Mora, A. H., Morales, M. C., Montalvo, E. G., & Andrade, E. F. (2017). *Prueba preliminar de toxicidad aguda-oral del aceite de la semilla Oecopetalum mexicanum en ratones BALB/c. Journal CIM Vol*, 5(2).

[11] Lascurain, M., Angeles-Álvarez, G., Ortega Escalona, F., Ordóñez Candelaria, V. R., Ambrosio, M., & Avendaño, S. (2007). *Características anatómicas y propiedades mecánicas de la madera de Oecopetalum mexicanum Greenm. & CH Thomps. (Icacinaceae) de la sierra de Misantla, Veracruz, México. Madera y bosques*, 13(2), 83-95.

[12] Covarrubias, M., López-Acosta, J. C., Lascurain-Rangel, M., Rebollo, V., Pedraza, R. A., & Avendaño-Reyes, S. (2018). *Bosques oligárquicos de Oecopetalum mexicanum enriquecidos con especies nativas de la Sierra de Misantla, México. Madera y bosques*, 24(3).

[13] Trejo-Parra L.A., Núñez-Carreón H.A., Ramos-Velásquez L., Arroyo-López M.M., Luna-Rodríguez M. y Cabrera-Hernández A.(Junio, 2009) *Evaluación fungicida de extractos etanólicos y acuosos del cachichin (Oecopetalum mexicanum) sobre diversos hongos fitopatogenos. Poster presentado en XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Acapulco, Guerre-*

ro. https://smbb.mx/congresos%20smbb/aca-pulco09/TRABAJOS/AREA_II/CII-76.pdf.

[14] Saidur R.M., Rauf F., Shermin T. S. & Khatun M. (2020). Seed Priming Methods: Application in Field Crops and Future Perspectives. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 5(2):8-19.

[15] Subbiah, A., Ramdhani, S., Pammenter, N. W., & Macdonald, A. H. (2019). Towards understanding the incidence and evolutionary history of seed recalcitrance: an analytical review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 37, 11-19.

[16] Keneni, Y. G., Hvoslef-Eide, A. T., & Marchetti, J. M. (2019). Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas* L. seeds. *Industrial crops and products*, 132, 12-20.

[17] Official Method AOAC. 925.10. Solids (total) and moisture in flour. Rockville, MD, USA: AOAC International; 2002.

[18] Perea-Flores, M., Garibay-Febles, V., Channon-Perez, J.J., Calderon-Dominguez, G., Mendez-Mendez, J.V., Palacios-González, E., Gutierrez-Lopez, G.F., 2012. Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures. *Ind. Crops Prod.* 38, 64-71.

[19] Eggers, S., Erdey, D., Pammenter, N. W., & Berjak, P. (2007). Storage and germination response of recalcitrant seeds subjected to mild dehydration. In *Seeds: biology, development and ecology. Proceedings of the Eighth International Workshop on Seeds, Brisbane, Australia, May 2005* (pp. 85-92). Wallingford UK: CABI.

[20] Ley-Lopez, J. M., Wawrzyniak, M. K., Chacon-Madrigal, E., & Chmielarz, P. (2023). Seed traits and tropical arboreal species conservation: a case study of a highly diverse tropical humid forest region in Southern Costa Rica. *Biodiversity and Conservation*, 32(5), 1573-1590.

[21] Daws, M. I., Garwood, N. C., & Pritchard, H. W. (2006). Prediction of desiccation sensitivity in seeds of woody species: a probabilistic model based on two seed traits and 104 species. *Annals of Botany*, 97(4), 667-674.

[22] Song, Q., Cheng, S., Chen, Z., Nie, G., Xu, F., Zhang, J., ... & Ye, J. (2019). Comparative transcriptome analysis revealing the potential mechanism of seed germination stimulated by exogenous gibberellin in *Fraxinus hupehensis*. *BMC plant biology*, 19, 1-17.

[23] Ge, N., Jia, J. S., Yang, L., Huang, R. M., Wang, Q. Y., Chen, C., ... & Chen, J. W. (2023). Exogenous gibberellic acid shortening after-ripening process and promoting seed germination in a medicinal plant *Panax notoginseng*. *BMC Plant Biology*, 23(1), 67.

[24] Berjak P., Pammenter N.W. (2013) Implications of the lack of desiccation tolerance in recalcitrant seeds. *Frontiers in Plant Science*, 4, 478.

[25] Ley-Lopez, J. M., Wawrzyniak, M. K., Chacon-Madrigal, E., & Chmielarz, P. (2023). Seed traits and tropical arboreal species conservation: a case study of a highly diverse tropical humid forest region in Southern Costa Rica. *Biodiversity and Conservation*, 32(5), 1573-1590.

