



Acta Botanica
Mexicana

Germinación y emergencia de *Quercus meavei* y *Quercus delgadoana*, especies amenazadas del bosque de niebla: efecto del acondicionamiento natural

Germination and emergence of *Quercus meavei* and *Quercus delgadoana*, threatened species of the cloud forest: effect of natural conditioning

Ana Teresa Castañón Malpica^{1,2}, Claudia Gallardo Hernández¹, Tarín Toledo Aceves^{1,3}

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: *Quercus delgadoana* y *Q. meavei* son especies amenazadas de encinos con distribución restringida al bosque de niebla en México. Para contribuir al conocimiento para la conservación y propagación de estas especies, evaluamos la germinación de semillas y emergencia de la plúmula en condiciones controladas.

Métodos: Analizamos el efecto del tratamiento pregerminativo de Acondicionamiento Natural (AN), que consiste en el enterramiento de las semillas en suelo forestal, exponiéndolas a ciclos de hidratación y deshidratación con el fin de acelerar y aumentar la germinación. A la par, se contó con un grupo Control de bellotas mantenidas en refrigeración.

Resultados: La germinación comenzó después de tres días (a partir del enterramiento) y terminó a los 24 días en *Q. delgadoana*. En *Q. meavei* comenzó a los 13 días (sumados a 15 días previos de enterramiento) y terminó a los 120 días. La germinación total fue significativamente más baja en las semillas con AN que en el Control. En *Q. delgadoana* la germinación promedio $\pm$ E.E. fue AN=73.5 $\pm$ 5.4% vs. Control=82.0 $\pm$ 4.6%, y en *Q. meavei*, AN=35.4 $\pm$ 6.7% vs. Control=62.0 $\pm$ 7.7%. La emergencia de la plúmula fue menor con el tratamiento AN que en el Control en ambas especies (*Q. delgadoana*, AN=60.0 $\pm$ 5.0% vs. Control=66.5 $\pm$ 4.5%; *Q. meavei*, AN=26.9 $\pm$ 5.2 vs. Control=57.0 $\pm$ 6.9%).

Conclusiones: Los resultados indican que el tratamiento pregerminativo de AN no mejora significativamente la germinación ni la emergencia en *Q. delgadoana* y *Q. meavei* bajo condiciones controladas. Los valores menores de germinación y emergencia con AN en comparación con el Control, sugieren que el AN no es eficaz para la propagación en estas especies. Se recomienda el uso de métodos de conservación como el utilizado en el grupo Control y explorar otros tratamientos pregerminativos que puedan mejorar el establecimiento de plántulas, especialmente en hábitats perturbados.

Palabras clave: acondicionamiento natural, bellotas, bosque mesófilo de montaña, encinos rojos, propagación.

Abstract:

Background and Aims: *Quercus delgadoana* and *Q. meavei* are threatened oak species restricted to the cloud forest in Mexico. To contribute to the knowledge for the conservation and propagation of these species, we evaluated seed germination and plumule emergence under controlled conditions.

Methods: We analyzed the effect of the pregerminative treatment of natural conditioning (NC), which consists of burying the seeds in forest soil, exposing them to cycles of hydration and dehydration to accelerate and increase germination. Simultaneously, we included a Control group of acorns kept in refrigeration.

Results: Germination began at three days (after burial) in *Q. delgadoana* and ended at 24 days. In *Q. meavei* it began at 13 days (added to 15 days of prior burial) and ended at 120 days. Total germination was significantly lower in seeds with NC compared to the Control. In *Q. delgadoana*, germination (mean $\pm$ S.E.) was NC=73.5 $\pm$ 5.4% vs. Control=82.0 $\pm$ 4.6%, and in *Q. meavei*, NC=35.4 $\pm$ 6.7% vs. Control=62.0 $\pm$ 7.7%. Plumule emergence was lower in the NC treatment compared to the Control in both species (*Q. delgadoana*, NC=60.0 $\pm$ 5.0% vs. Control=66.5 $\pm$ 4.5%; *Q. meavei*, NC=26.9 $\pm$ 5.2% vs. Control=57.0 $\pm$ 6.9%).

Conclusions: The results indicate that the pregerminative treatment of NC does not significantly improve germination or emergence in *Q. delgadoana* and *Q. meavei* under controlled conditions. Seeds subjected to the NC treatment showed lower percentages of germination and emergence compared to the Control group, suggesting that this treatment is not effective for propagating these species. It is recommended to use conservation methods such as that utilized in the control group, and to explore other pregerminative treatments that might improve seedling establishment, especially in disturbed habitats.

Key words: acorns, natural conditioning, propagation, red oaks, tropical montane cloud forest.

¹Instituto de Ecología, A.C., Red de Ecología Funcional, Carretera antigua a Coatepec no. 351, Col. El Haya, 91073 Xalapa, Veracruz, México.

²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio s.n., Cd. Universitaria, La Hacienda, 72592 Heroica Puebla de Zaragoza, Puebla, México.

³Autor para la correspondencia: tarin.toledo@inecol.mx

Recibido: 21 de enero de 2024.

Revisado: 13 de agosto de 2024.

Aceptado por Moisés Méndez Toribio: 12 de noviembre de 2024.

Publicado Primero en línea: 25 de noviembre de 2024.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 131(2024).

Citar como: Castañón Malpica, A.T., C. Gallardo Hernández y T. Toledo Aceves. 2024. Germinación y emergencia de *Quercus meavei* y *Quercus delgadoana*, especies amenazadas del bosque de niebla: efecto del acondicionamiento natural. Acta Botanica Mexicana 131: e2307. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2307>



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Los encinos (género *Quercus* L., familia Fagaceae) son un grupo de gran importancia ecológica; representan el género con la mayor biomasa y diversidad en los bosques en México, en donde comprenden cerca de 29% de la biomasa aérea total de los bosques (Cavender-Bares, 2019). Los encinos cumplen importantes funciones proveyendo hábitat y alimento para aves y pequeños mamíferos, y sus relaciones con ectomicorrizas juegan un papel central en el ciclo de nutrientes y en el funcionamiento de los ecosistemas forestales (Center et al., 2016). Los encinos se han adaptado a diferentes hábitats, ocupando rangos amplios de elevación y clima (Cavender-Bares, 2019). Es en México en donde presentan la mayor riqueza de especies en el mundo (Cavender-Bares, 2019). Sin embargo, debido a la pérdida de hábitat y a la sobreexplotación, de las 164 especies que se han registrado en México, 32 están en una categoría de amenaza de acuerdo con la Lista Roja de la UICN (Carrero et al., 2020).

Muchas especies amenazadas de encinos del bosque de niebla presentan limitada regeneración (González-Espinosa et al., 2011). En bosques de niebla secundarios y bosques urbanos la densidad de plántulas es significativamente menor que en bosques conservados (Ortiz-Colín et al., 2017; Toledo-Aceves et al., 2021; Toledo-Garibaldi et al., 2023). La baja regeneración puede deberse a múltiples causas, como problemas durante la dispersión, depredación de semillas, baja germinación, herbivoría y patógenos (Badano et al., 2015; Löf et al., 2019). Para contribuir a la recuperación de las poblaciones de especies amenazadas y de sus funciones asociadas en el ecosistema, se pueden reintroducir semillas y plántulas (Castro-Colina et al., 2012; Becerra-Vázquez et al., 2020; Toledo-Aceves et al., 2022, 2023). Sin embargo, la siembra directa de semillas presenta bajo éxito en el establecimiento, debido a la remoción de semillas previo a la germinación y reducida emergencia y desarrollo de las plántulas (Löf et al., 2019). En comparación, el trasplante de plántulas permite superar filtros importantes para la germinación y el establecimiento temprano y se ha reportado que pueden establecerse exitosamente en sitios perturbados en paisajes del bosque de niebla (Toledo-Aceves et al., 2022).

La mayoría de las especies del género *Quercus* posee semillas recalcitrantes caracterizadas por un alto contenido de humedad en el momento de la dispersión, rápida germinación y una corta longevidad (Magnitskiy y Plaza, 2007; Pelissari et al., 2018). Cuando la bellota (fruto de los árboles del género *Quercus*) se encuentra madura, es liberada del árbol con un alto contenido de humedad, y conforme pasa el tiempo pierden humedad y se reduce su viabilidad (Zavala-Chávez, 2004). Debido a su sensibilidad a la desecación, las semillas recalcitrantes no son adecuadas para ser almacenadas en bancos de semillas como forma de conservación *ex situ*. Además, una limitante para la propagación de los encinos es la pérdida de viabilidad de las semillas con el tiempo de almacenamiento (Xia et al., 2022). En algunas especies, la sincronización en la producción de semillas y una rápida germinación de semillas pueden ser una estrategia favorable para promover la supervivencia, ya que la producción de una gran cantidad de semillas puede saciar a los herbívoros depredadores, permitiendo que algunas semillas escapen a la depredación y logren germinar y establecerse (Bonat et al., 2007). Por otro lado, la baja sincronización en la producción de semillas, germinación y emergencia puede dificultar la producción de plántulas vigorosas en el vivero (Kaliniewicz y Tylek, 2018).

La germinación de las semillas es una etapa fundamental en el desarrollo de los árboles y crucial para la regeneración y restauración ecológica de los bosques. En el caso de especies amenazadas la germinación es una etapa crucial para mantener y recuperar sus poblaciones. Sin embargo, existe poca información sobre la germinación para muchas especies amenazadas de encinos del bosque de niebla (Camacho-Cruz et al., 2000; García-De La Cruz et al., 2016) y sobre el efecto de tratamientos para mejorar la germinación, el establecimiento y el crecimiento de las plántulas (Castro-Colina et al., 2012; Garcías-Morales et al., 2021). Estudios recientes reportan tratamientos pregerminativos que aumentan la tasa de germinación y la germinación total en especies con semillas recalcitrantes (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2009; Castro-Colina et al., 2012; Hawkins, 2019; Becerra-Vázquez et al., 2020; Garcías-Morales et al., 2021). Sin embargo, se desconoce el efecto de estos



tratamientos para la mayoría de las especies amenazadas de encinos.

Un tratamiento pregerminativo de interés para aumentar la germinación total y acelerar el proceso germinativo es el acondicionamiento natural. Este tratamiento consiste en el enterramiento de las semillas en el suelo forestal posterior a su dispersión, por un periodo determinado o hasta que estas germinan (Orozco-Segovia et al., 2014). Estudios recientes reportan que el acondicionamiento natural aumenta la tasa de germinación de las semillas y la germinación final en *Cupania glabra* Sw. y *Cymbopetalum baillonii* R.E.Fr., especies de árboles con semillas recalcitrantes de la selva húmeda tropical de los Tuxtlas, Veracruz, México (Becerra-Vázquez et al., 2020). En el caso de los encinos, Garcías-Morales et al. (2021) reportan un aumento significativo en la germinación total tras un periodo de enterramiento de 31 días en *Quercus nixoniana* S. Valencia y Lozada-Pérez, en Jalisco, una especie amenazada del bosque de niebla endémica de México. Durante el enterramiento las semillas se encuentran expuestas a intervalos de hidratación y deshidratación de acuerdo con la humedad presente en el suelo (Orozco-Segovia et al., 2014). Con el acondicionamiento natural, las semillas pueden experimentar cambios fisiológicos y bioquímicos que, en algunos casos, son beneficiosos para la germinación (Alvarado-López et al., 2014), y se ha reportado que pueden adquirir características de resistencia al estrés (González-Zertuche et al., 2001).

Posterior al enterramiento, las semillas pasan por procesos como la hidratación, que vigorizan a las semillas, lo cual puede resultar en mayor crecimiento y supervivencia de las plántulas (Peraza-Villarreal et al., 2018). Sin embargo, también se ha observado que con el enterramiento en suelo forestal las semillas de encinos del bosque de niebla pueden deshidratarse o pudrirse (Rodríguez-Zambrano, 2024). En condiciones naturales las semillas pueden resultar enterradas por diferentes factores, por ejemplo por dispersores de semillas como es el caso de roedores para las bellotas de *Quercus ilex* L. (Pulido y Díaz, 2005; Gómez et al., 2008), así como también por el cubrimiento de hojarasca (Perea García-Calvo et al., 2009), la cual puede brindar protección a las bellotas para evitar

desección, además de servir como protección ante depredadores (Chambers y Macmahon, 1994).

En años recientes también se ha reportado que los tratamientos de acondicionamiento pueden aumentar la sincronización en el proceso de germinación, lo que es especialmente favorable para la producción de plántulas en viveros destinadas a proyectos de restauración y conservación (Benítez-Rodríguez et al., 2014; Orozco-Segovia et al., 2014). El acondicionamiento natural también es viable para ser utilizado en viveros rurales, ya que el proceso es de fácil aplicación y bajo costo (Benítez-Rodríguez et al., 2014). Si bien existen numerosos estudios sobre los efectos del microhábitat en la germinación y emergencia de bellotas, el impacto de los tratamientos pregerminativos puede variar significativamente según la especie. En el caso de especies con semillas recalcitrantes, como los encinos, los estudios sobre tratamientos pregerminativos siguen siendo limitados.

En el presente estudio evaluamos el efecto del acondicionamiento natural sobre la germinación de semillas y la emergencia de la plúmula en *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly y *Quercus meavei* S. Valencia, Sabas y O.J. Soto. Las dos especies son endémicas del bosque de niebla de México, cuya distribución se restringe a la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz (Valencia-A. et al., 2016). Sus poblaciones pueden o no coexistir en dichas regiones. Ambas especies se encuentran en una categoría de amenaza de acuerdo con la Lista Roja de la UICN, debido principalmente a la pérdida de su hábitat (Carrero et al., 2020). El bosque de niebla ha experimentado una pérdida de más de 50% de su cobertura original en México (CONAFOR, 2017), además de ser un ecosistema altamente vulnerable al cambio climático global. Aunado a la pérdida de hábitat, los árboles de estas especies se han observado como individuos aislados en potreros en el estado de Veracruz, en donde no se ha observado regeneración. Dado que estas especies han sido descritas recientemente, existe muy poca información sobre su biología y propagación. Se seleccionaron debido a su estatus como endémicas y amenazadas, además de su distribución extremadamente restringida,



lo que las convierte en elementos prioritarios para los esfuerzos de conservación y restauración en los paisajes de bosque de niebla.

Materiales y Métodos

Especies

Las dos especies estudiadas pertenecen a la sección *Lobatae* Loudon (encinos rojos) y se describen a continuación. *Quercus delgadoana*: alcanza 25 m de altura, con ramillas glabras y lenticeladas, con yemas ovoides amarillentas, hojas coriáceas elípticas, lanceoladas u oblongas, margen entero y revuelto, ápice agudo aristado, haz glabro con venas claramente hundidas, envés en ocasiones con tricomas agrupados en las axilas de las hojas y con bellotas ovoides y con cúpulas turbinadas. Florece en marzo y los frutos maduros ocurren en octubre del siguiente año, por lo que se consideran de desarrollo bianual (Valencia-Avalos et al., 2011). Está clasificada como especie amenazada (EN) de acuerdo con la Lista Roja de encinos (Carrero et al., 2020) y en la Lista Roja de árboles del bosque de niebla en México (González-Espinosa et al., 2011). Se ha considerado que puede ocurrir un declive de sus poblaciones superior a 50% como consecuencia de la pérdida de su hábitat (Valencia-Avalos et al., 2011).

Quercus meavei: son árboles de 20-30 m de altura, con ramillas fulvo-tomentosas, con yemas ovoides alargadas, hojas subcoriáceas a coriáceas, lanceoladas, oblanceoladas a elípticas, con 9 a 11 dientes aristados por lado, distribuidos desde la base y con ápice acuminado aristado, haz glabro, envés con tricomas en las axilas de las venas secundarias, bellotas ovoides y cúpula hemisférica (Valencia-Á. et al., 2016). Florece en marzo y los frutos maduros ocurren en octubre del siguiente año, por lo que se consideran de desarrollo bianual (Fig. 1A). Está clasificada como especie vulnerable (VU) (Carrero et al., 2020), y no fue evaluada en la Lista Roja de árboles del bosque de niebla en México (González-Espinosa et al., 2011), debido a que fue descrita posteriormente. Se distribuye especialmente en barrancos protegidos cerca de pequeños arroyos donde prevalecen condiciones de alta humedad ($\geq 90\%$) (Argüelles-Marrón et al., 2023).

Diseño experimental

Se realizó una colecta de semillas de *Q. delgadoana* y *Q. meavei* en septiembre del 2022 en la localidad de Totoyac, municipio Tepetlán, Veracruz, México. Las semillas fueron colectadas de dos árboles por especie debido a que no se encontraron más individuos en las áreas exploradas. Se realizó una segunda colecta en octubre del 2022 en la localidad



Figura 1: A. semillas de *Quercus meavei* S. Valencia., Sabas y O.J. Soto; B. tratamiento de acondicionamiento natural; C. semillas de *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly en bandejas de germinación; D. emergencia de la plúmula en *Q. delgadoana*.

de Tetlaxca, municipio Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, México, de cinco árboles de *Q. meavei*. De cada árbol se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura, y se registró su condición de salud.

De los árboles que se colectaron semillas se hicieron ejemplares de referencia que fueron ingresados al herbario XAL (*Q. delgadoana*, C. Gallardo Hernández 5427, 5428 y 5429, de Totoyac; y de *Q. meavei*, C. Gallardo Hernández 5430, 5431 y 5432, de Totoyac; y C. Gallardo Hernández 5443 y 5444, de Tetlaxca). La localización y atributos de los árboles semilleros se encuentran en el Apéndice. Se colectaron las semillas directamente del suelo y fueron transportadas en bolsas de plástico que contenían suelo del sitio de colecta con el propósito de conservar la humedad a la que estaban expuestas (Cesar Flores, comm. pers.). Además, al colectar suelo de la base del árbol en la bolsa se promueve que las bellotas tengan acceso a las micorrizas asociadas a la especie (Rodríguez-Acosta y Coombes, 2020). Las semillas se mantuvieron separadas por cada árbol madre (individuo adulto del que se colectaron semillas) y se conservaron en bolsas abiertas por un día mientras fueron procesadas.

Del total de las semillas colectadas, se utilizó un subgrupo de 20 semillas de cada árbol madre para el registro de tamaño y peso fresco y seco. De cada semilla se midió el largo y ancho con un vernier (Mitutoyo®, Absolute Digimatic, Illinois, USA) y el peso fresco con una balanza analítica (Sartorius®, BP211D, Göttingen, Alemania) en el laboratorio de la Red de Ecología Funcional del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL). Posteriormente se tomaron ocho semillas por cada individuo y se mantuvieron dentro de un horno de secado (Lumistell®, HTP-72, Guanajuato, México) durante un periodo de 96 horas a una temperatura de 70 °C como sugieren Garcías-Morales et al. (2021). Al concluir este periodo se registró el peso seco con la misma balanza analítica. El número reducido de semillas que se utilizó para medir el peso seco fue debido al bajo número de semillas disponibles.

Se utilizó la técnica de flotabilidad (inmersión en agua) para descartar a las semillas que flotaron, asumiendo que eran inviables. Posteriormente, se aplicó el tratamiento de acondicionamiento natural (AN) y Control. El AN

consistió en el enterramiento de las semillas en suelo forestal durante 15 días o hasta que comenzaran a germinar las primeras semillas. Para incluir la heterogeneidad que se puede presentar en el suelo forestal, dentro del bosque de niebla del área protegida “Santuario de Bosque de Niebla” del INECOL, Xalapa, Veracruz (19°30'45"N; 96°56'20"O; 1225-1350 m s.n.m.), se seleccionaron 10 sitios con una separación de mínimo 10 m entre sitios. La descripción de la vegetación de esta área protegida se puede encontrar en Lorea-Hernández et al. (2020).

Para el AN, las semillas fueron colocadas dentro de 10 bolsas hechas con malla de nylon de 15 × 16 cm (Fig. 1B). Se enterraron las bolsas a 4-5 cm de profundidad tomando como referencia lo sugerido por Becerra-Vázquez et al. (2020) (Fig. 1B). El tratamiento de acondicionamiento natural consistió en el enterramiento de las semillas en suelo forestal, monitoreándolas cada tercer día durante 15 días para determinar el inicio de la germinación en cada especie, tomando como referencia la aparición de la radícula. Las semillas de *Q. delgadoana* se mantuvieron en el suelo durante tres días ya que en ese periodo se registraron las primeras semillas germinadas, mientras que las semillas de *Q. meavei* permanecieron en el suelo durante 15 días. Todas las semillas fueron extraídas del tratamiento en el momento en el que se presentaron las primeras semillas germinadas por especie en el caso de *Q. delgadoana*, y cumplidos los 15 días en el caso de *Q. meavei* para evitar pudrición, ya que ensayos previos con otras especies de encinos en el mismo sitio mostraron que la pudrición comenzaba después de este periodo.

Simultáneamente al tratamiento de AN, el grupo Control, que corresponde al segundo conjunto de semillas, se mantuvo dentro de las bolsas con suelo forestal, en un refrigerador a 4 °C (Vendo®, VR26, México), como se recomienda almacenarlas cuando no se van a sembrar inmediatamente (Rodríguez-Acosta y Coombes, 2020). El día en el que las primeras semillas de cada especie germinaron, todas las semillas, tanto del tratamiento de AN como del Control, fueron colocadas en bandejas para germinación en el vivero del Jardín Botánico “Francisco Javier Clavijero” en el INECOL, Xalapa, Veracruz (Fig. 1C), para su seguimiento. En el momento de la siembra en charolas algunas bellotas



habían germinado y otras no. Las semillas de los dos grupos se sembraron simultáneamente en las bandejas de germinación con una mezcla de sustrato con contenido de tierra negra y tepezil (3:1) y se mantuvieron dentro del vivero con malla sombra (30%). El riego se realizó cada tercer día durante todo el tiempo de registro de datos. Previo a la exposición al tratamiento, se mezclaron todas las semillas provenientes de los diferentes árboles madre.

De la colecta de Totoyac (septiembre 2022) se sembraron en total 200 semillas de *Q. delgadoana* que previamente fueron sometidas a AN y 200 del Control, y de *Q. meavei* se sembraron 200 semillas que fueron sometidas a AN y 157 semillas del Control, distribuidas en 10 bandejas. De la colecta de Tetlaxca (octubre 2022) de *Q. meavei* se sembraron 182 semillas que fueron sometidas a AN y 181 semillas del Control, distribuidas en cinco bandejas. Cada bandeja fue subdividida en cuatro cuadrantes y se asignaron dos cuadrantes a cada uno de los dos tratamientos (Fig. 1C).

Se registró la germinación de semillas y la emergencia cada tercer día, a partir del día de la siembra y hasta que durante cinco registros consecutivos no hubo germinación o emergencia. La emergencia se registró cuando hubo aparición de la plúmula, visible con aproximadamente 2 mm de longitud. Posteriormente los registros fueron cada semana, hasta que la mayoría de las plántulas alcanzaron 5 cm de altura. Luego, se trasplantaron a bolsas de plástico individuales (13 × 25 cm) con la misma mezcla de sustrato. El seguimiento de estos registros se extendió durante 25 semanas.

Análisis de datos

Se utilizaron Modelos Lineales Generalizados (MLG) con distribución binomial para analizar el efecto de los tratamientos (AN y Control) sobre la proporción de germinación y de emergencia totales (valores registrados al final del experimento, no la curva en el tiempo) debido a la naturaleza de la variable respuesta. El MLG con error binomial permite que la varianza binomial sea no-constante y asegura que las predicciones de la germinación o emergencia se mantengan dentro del rango 0-1, generando estimaciones más precisas del efecto del tratamiento sobre la probabilidad (Crawley,

2013), en este caso de germinación o emergencia. Se utilizó la función de liga *logit* para la proporción germinadas/no-germinadas o emergidas/no-emergidas. Para los modelos se utilizaron los valores de número de semillas germinadas y no-germinadas (emergidas/no-emergidas) por cuadrante para cada especie por separado.

Para *Q. delgadoana* también se evaluó el efecto de los tratamientos sobre t_{50} , que es el tiempo necesario para que germine 50% del total de las semillas, con un modelo lineal (ML). En este ML la variable de respuesta es el número de días transcurridos cuando se alcanzó 50% de la germinación, y la variable predictora es tratamiento (con dos niveles: AN y Control). Se consideró como diferencias significativas entre tratamientos un valor de $P < 0.05$. En el caso de las semillas de *Q. meavei* no pudimos analizar t_{50} , ni tampoco t_{20} (tiempo necesario para que germine 20% del total de las semillas), debido a que la germinación en algunos cuadrantes de las bandejas de germinación fue menor a 20%.

Resultados

El tamaño de las semillas, peso fresco y seco, contenido de humedad y viabilidad a partir de la prueba de flotabilidad, se encuentran en el cuadro 1. En todos los grupos de semillas el contenido de humedad fue superior a 40% y en las dos especies la viabilidad estimada a partir de la técnica de flotabilidad fue >80%.

En el caso de *Q. delgadoana* se registraron las primeras semillas germinadas a los tres días en el tratamiento con AN y a los seis días en el control (Fig. 2). A los 24 días ya no se registraron nuevas semillas germinadas. Aunque el AN aceleró el inicio de la germinación, tanto las semillas de AN como en el Control alcanzaron valores similares a los 16 días después de la siembra. En cuanto al efecto de los tratamientos sobre la germinación total, las semillas en AN tuvieron una germinación total más baja que en el Control (promedio ± 1 E.E.; $73.5 \pm 5.4\%$ y $82.0 \pm 4.6\%$, respectivamente; $P = 0.042$; Cuadro 2). Sin embargo, la magnitud de la diferencia entre los valores promedio de los tratamientos fue pequeña (ca. 10%). El tiempo para alcanzar 50% del total de las semillas germinadas (t_{50}) en el tratamiento AN fue de 14.8 días y en



Cuadro 1: Tamaño, peso, viabilidad y contenido de humedad (promedio $\pm$ 1 E.E.). Entre paréntesis se muestran los valores mínimos y máximos registrados de las bellotas de *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly, y *Quercus meavei* S. Valencia, Sabas y O.J. Soto.

Árbol madre	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Viabilidad (%)	Contenido humedad (%)
<i>Quercus delgadoana</i> S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly	17.18 $\pm$ 0.38 (12.84-20.69)	12.69 $\pm$ 0.18 (11.16-14.11)	1.82 $\pm$ 0.05 (1.09-2.53)	1.01 $\pm$ 0.04 (0.7-1.32)	87.7	42.59 $\pm$ 1.18
<i>Quercus meavei</i> S. Valencia, Sabas y O. J. Soto	21.12 $\pm$ 0.37 (15.2-26.36)	17.51 $\pm$ 0.16 (16.0-21.45)	3.92 $\pm$ 0.12 (2.23-5.88)	1.35 $\pm$ 0.11 (0.66-4.21)	92.0	63.70 $\pm$ 1.52

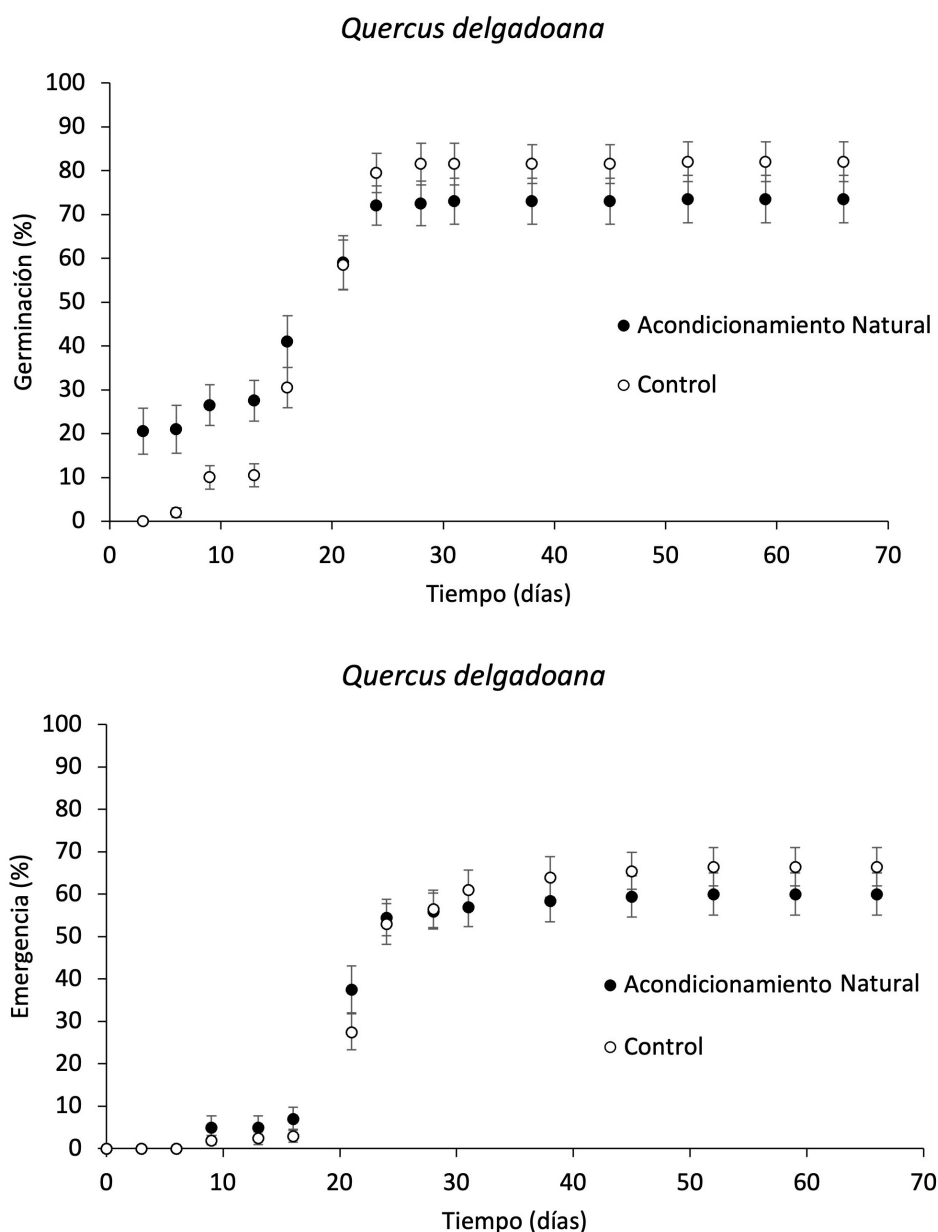


Figura 2: Porcentaje de germinación de semillas (arriba) y emergencia de plántulas (abajo) (promedio $\pm$ E.E.) de *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly de la localidad de Totoyac, Veracruz, México, en los tratamientos de Acondicionamiento Natural (AN) y Control.



Cuadro 2: Resultados del Modelo Lineal Generalizado (MLG) para evaluar el efecto del tratamiento (Acondicionamiento Natural vs. Control) sobre la germinación total (Devianza explicada por el modelo: D2=7.15%) y emergencia total (Devianza=4.86 %) de *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly.

Variable predictora	Coefficiente $\pm$ E.E.	z	P
Germinación			
Razón de probabilidades (odds ratio)	1.020 $\pm$ 0.160	6.367	<0.0001
Tratamiento	0.496 $\pm$ 0.244	2.033	0.042
Emergencia			
Razón de probabilidades (odds ratio)	0.405 $\pm$ 0.144	2.809	0.004
Tratamiento	0.280 $\pm$ 0.208	1.347	0.178

Control fue de 15.6 días. El modelo para analizar el efecto de los tratamientos AN y Control sobre el t_{50} mostró que no hubo diferencias significativas para *Q. delgadoana* ($P=0.686$; Cuadro 3). Con respecto a la emergencia, tanto en AN como en el Control, registramos la emergencia de la plúmula en *Q. delgadoana* a los nueve días desde que se sembraron las semillas en el vivero; al pasar 52 días se registraron las últimas en emerger (Fig. 2). La emergencia total fue similar en AN y Control (60.0 $\pm$ 5.0% y 66.5 $\pm$ 4.5%, respectivamente; $P=0.178$; Cuadro 2).

Las bellotas de *Q. meavei* tardaron más tiempo en comenzar a germinar que las de *Q. delgadoana*. De los individuos de *Q. meavei* de Totoyac, registramos las primeras semillas germinadas de AN y en el Control a los 13 días a partir de la siembra en el vivero (sumados a los 15 días que estuvieron enterradas en el suelo forestal previamente), y las últimas semillas germinaron a los 50 días. De los individuos *Q. meavei* de Tetlaxca, las bellotas

Cuadro 3: Resultados del Modelo Lineal para evaluar el efecto de tratamiento (Acondicionamiento Natural vs. Control) sobre t_{50} (número de días para alcanzar 50% de la germinación) en *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly. Grados de Libertad=18. R2=0.009.

Variable predictora	Coefficiente $\pm$ E.E.	t	P
Intercepto	14.9 $\pm$ 1.37	10.82	<0.0001
Tratamiento	0.80 $\pm$ 1.94	0.411	0.686

tanto de AN como del Control comenzaron a germinar a los 15 días después de la siembra en el vivero (Fig. 3), y a los 120 días registramos las últimas semillas germinadas. Para *Q. meavei* de Tetlaxca, las semillas presentaron, contrario a lo esperado, menor germinación total en AN que en el Control (35.4 $\pm$ 6.7% y 62.0 $\pm$ 7.7%, respectivamente; $P<0.0001$; Cuadro 4). El tiempo de las semillas sometidas a AN para alcanzar 20% de la germinación total fue de 77.1 días, mientras que para el Control las semillas alcanzaron este porcentaje en solo 24.6 días. La emergencia de la plúmula en *Q. meavei* de Tetlaxca ocurrió a los 40 días desde el momento de siembra en las semillas de AN y a los 22 días en las semillas del Control. Los últimos registros de emergencia fueron a los 100 días. El MLG mostró menor emergencia en AN que en el Control (26.9 $\pm$ 5.2% y 57.0 $\pm$ 6.9%, respectivamente; $P<0.0001$; Cuadro 4). En el caso de las semillas de la población de Totoyac de *Q. meavei*, la germinación total alcanzada fue de 23.0 $\pm$ 2.1% en AN y de 15.0 $\pm$ 2.8% en el Control, y la emergencia, de 7.5 $\pm$ 1.9% en AN y de 6.2 $\pm$ 0.7% en el Control. La emergencia de la plúmula se reportó a los 17 días desde el momento de siembra para ambos tratamientos y los últimos datos de emergencia se registraron a los 42 días. Debido a los valores bajos de germinación y emergencia para las semillas de Totoyac, no se evaluaron diferencias estadísticas entre tratamientos y no se muestran las curvas de germinación y emergencia. Solo

Cuadro 4: Resultados del Modelo Lineal Generalizado (MLG) para evaluar el efecto de tratamiento (Acondicionamiento Natural vs. Control) sobre la germinación total (Devianza explicada por el modelo: D2=46.75%) y emergencia total (Devianza=35.76 %) de *Quercus meavei* S. Valencia, Sabas y O.J. Soto.

Variable predictora	Coefficiente $\pm$ E.E.	z	P
Germinación			
Razón de probabilidades (odds ratio)	-0.708 $\pm$ 0.150	-4.709	<0.0001
Tratamiento	1.477 $\pm$ 0.219	6.723	<0.0001
Emergencia			
Razón de probabilidades (odds ratio)	-1.098 $\pm$ 0.163	-6.728	<0.0001
Tratamiento	1.270 $\pm$ 0.214	5.933	<0.0001



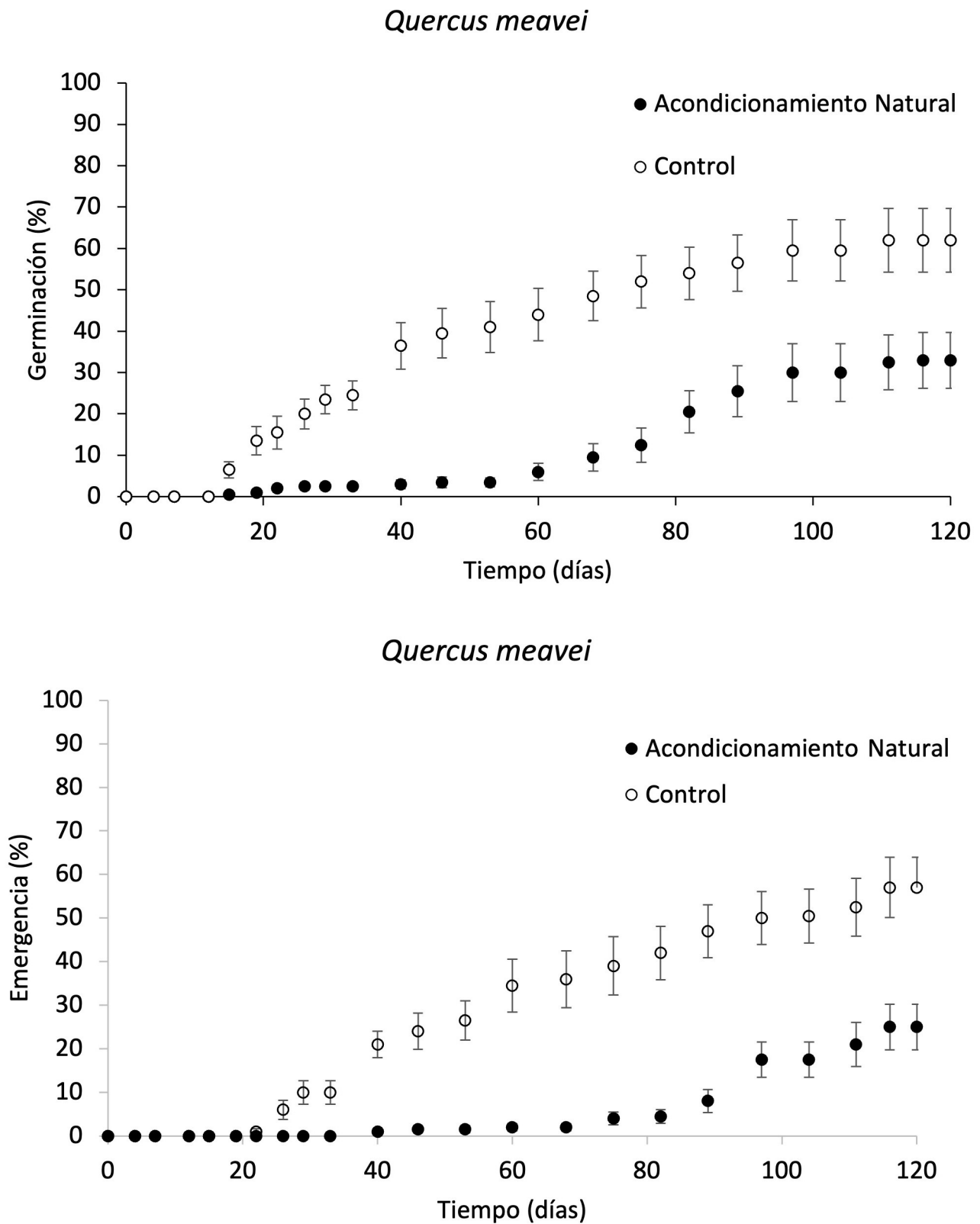


Figura 3: Porcentaje de germinación de semillas (arriba) y emergencia de plántulas (abajo) (promedio $\pm$ E.E.) de *Quercus meavei* S. Valencia, Sabas y O.J. Soto de la localidad de Tetlaxca, Veracruz, México, en los tratamientos de Acondicionamiento Natural y Control.

se reportan los valores promedio encontrados para contribuir a la información sobre la germinación y emergencia en esta especie.

Discusión

Los valores de germinación total encontrados para *Q. delgadoana* y *Q. meavei* en condiciones controladas fueron altos y se encuentran dentro del rango reportado para otras especies de encinos del bosque de niebla: para *Q. insignis* M. Martens y Galeotti 56.5% de germinación total, para *Q. germana* Schltdl. y Cham. desde 18.1% hasta 91.6%, para *Q. sartorii* Liebm. de 50.0% a 71.8%, para *Q. xalapensis* Bonpl. 53.5% y la más baja para *Q. cortesii* Liebm. 13.3% (García-Hernández et al., 2016, 2023; Toledo-Aceves, 2017). Los valores encontrados de germinación y emergencia indican el alto potencial de las especies estudiadas para propagarse a partir de semilla en condiciones controladas.

La gran diferencia en la germinación encontrada en las semillas de *Q. meavei* de las dos localidades puede deberse a factores como el momento en el que fueron colectadas las semillas dentro del periodo de fructificación, la variación entre árboles madre y la procedencia. En cuanto al periodo de producción de bellotas, Center et al. (2016) encontraron para *Q. oleoides* Schltdl. y Cham. en Costa Rica, que las bellotas producidas más tarde durante el periodo de lluvias tuvieron mejor desempeño en comparación con las producidas al inicio del periodo, lo cual se asoció a condiciones climáticas más favorables para la germinación. Las semillas colectadas de Totoyac comenzaban a caer cuando fueron colectadas, lo cual podría explicar la baja germinación encontrada en comparación con las bellotas de Tetlaxca que tenían más días de haber comenzado a caer. Dado que no se recolectaron semillas de los mismos árboles semilleros al inicio y al final del periodo de producción en ambas localidades, no es posible determinar si la menor germinación de las semillas en Totoyac se debe a las características de la población o a las particularidades de la cohorte recolectada. González-Rodríguez et al. (2012) encontraron que la variación entre árboles madre en las poblaciones tiene un efecto en la variación y calidad de las semillas, y que esta variabilidad

dentro de las poblaciones puede afectar la germinación y el establecimiento de plántulas. En el presente estudio no analizamos el efecto del árbol madre debido a que solo pudimos encontrar un número muy reducido de individuos. Las condiciones cambiantes en el ecosistema, como un incremento en la temperatura y/o la reducción en la precipitación, también pueden afectar el éxito en la germinación y establecimiento de plántulas de encinos (Badano y Sánchez-Montes de Oca, 2022; Toledo-Aceves et al., 2023).

En la localidad de Totoyac se presenta un clima templado húmedo con una temperatura media anual de 16 °C y se encuentra a una altitud de 1900 m (INEGI, s.f.), en contraste con la localidad de Tetlaxca, que presenta un clima templado, con una altitud de 1441 m y una temperatura promedio anual de 22.5 °C (INEGI, s.f.). El sitio de propagación, en el municipio Xalapa de Enríquez, Veracruz, tiene un clima semicálido húmedo y se encuentra a 1417 m s.n.m., cuenta con una temperatura promedio anual de 18 °C, por lo que presenta un clima más similar al de Tetlaxca, lo que pudo influir en el éxito en la germinación, ya que es un proceso que es afectado por el clima (Walck et al., 2011). Debido a la gran variación que puede ocurrir en la germinación entre poblaciones de distintas procedencias (Caliskan, 2014), es importante realizar estudios que incluyan otras localidades para tener una mejor representatividad para las especies.

Otro factor particularmente importante para la germinación en los encinos es el contenido de humedad de las semillas, ya que cuando caen al suelo el contenido de humedad se reduce con el paso del tiempo, y disminuye su capacidad de germinación (Vázquez-Yanes et al., 1999). En un estudio realizado sobre el contenido de humedad en bellotas de nueve especies de encinos de los estados de Hidalgo, Querétaro y el Estado de México, las semillas fueron sometidas a pérdida de humedad y se encontró que el contenido de humedad está positivamente relacionado con la tasa de germinación (Zavala-Chávez, 2004). En el presente estudio hubo un monitoreo de producción de semillas y no permanecieron en el suelo por muchos días previos a la colecta, por lo que consideramos que las semillas no perdieron humedad por haber estado



expuestas. Además, las semillas de *Q. meavei* de Totoyac, que presentaron mayor contenido de humedad que las de Tetlaxca, tuvieron menor germinación.

Las semillas de *Q. delgadoana* en el Control germinaron al quinto día de haber sido colectadas y alcanzaron la germinación máxima a los 20 días en ambos tratamientos, lo que indica que las semillas de esta especie cuentan con el potencial para ser propagadas exitosamente bajo condiciones controladas con un tiempo reducido de exposición a temperaturas bajas. El almacenamiento en refrigerador antes de la siembra tuvo un efecto positivo en comparación con el AN. En el caso de *Q. meavei* las semillas comenzaron a germinar a los 13 días de siembra en el vivero, también en el Control, y presentaron una velocidad de germinación mucho menor; todavía a los 111 días se registraron nuevas semillas germinadas. Como referencia, **Martínez-Pérez et al. (2006)** reportan para *Q. deserticola* Trel. 50% de germinación a los 40 días de la siembra y sin ningún tratamiento aplicado y consideran que no requiere de tratamientos previos a la germinación.

Los resultados muestran que el acondicionamiento natural no tuvo efecto positivo sobre la tasa de germinación, la germinación total, ni sobre la sincronidad de la emergencia de plántulas de las especies estudiadas, en comparación con las semillas del Control. El acondicionamiento natural ha tenido un efecto positivo en la germinación de distintas especies con semillas recalcitrantes, incluyendo a *Q. nixoniana* (**Garcías-Morales et al., 2021**). El experimento con *Q. nixoniana* se realizó en la Sierra de Manantlán, la cual presenta condiciones climáticas similares al bosque de niebla del presente estudio, aunque con una temporada de secas más marcada. Por otro lado, en un estudio reciente (**Rodríguez-Zambrano, 2024**) se encontró 50% de pérdida de semillas de *Q. pinnativenuosa* C.H. Mull. por pudrición cuando se sembraron directamente en el suelo forestal en bosque de niebla en el mismo sitio de estudio del presente trabajo, lo que sugiere un alto riesgo para las semillas enterradas.

El acondicionamiento natural ha mostrado beneficios en otras especies con semillas recalcitrantes y en diferentes ecosistemas, por lo que se requieren estudios que incluyan diferentes procedencias, un mayor número

de individuos madre, así como diferentes tiempos y profundidades de enterramiento para evaluar el efecto de estas variables sobre la germinación de encinos del bosque de niebla, así como su posible efecto sobre el desarrollo de las plántulas. También sería recomendable realizar una prueba de corte a las semillas para examinar el estado del embrión y evaluar si el tratamiento de AN disminuye la viabilidad después del enterramiento en suelo forestal y antes de la siembra en vivero.

El presente estudio representa una contribución al entendimiento de la respuesta del proceso de germinación al tratamiento pregerminativo de acondicionamiento natural, sobre el cual existe muy poca información para los encinos. Aunque se ha propuesto el acondicionamiento natural para mejorar la germinación y el establecimiento de plántulas en especies con semillas sensibles a la desecación, nuestros resultados muestran que este tratamiento no aceleró la germinación, ni aumentó la sincronidad en la etapa de germinación y tampoco aumentó la germinación total en *Q. delgadoana* y *Q. meavei*.

Los valores de germinación encontrados para las especies estudiadas sin ningún tratamiento indican un alto potencial para ser propagadas a partir de semilla en condiciones controladas. Las plántulas producidas pueden ser trasplantadas en áreas perturbadas para contribuir al fortalecimiento de sus poblaciones con fines de conservación y restauración. Para asistir la regeneración de estas especies es necesario evaluar la regeneración natural en las áreas en donde se distribuyen, así como el establecimiento de plántulas trasplantadas, tanto en las áreas en donde se encuentran actualmente los árboles adultos, como en sitios en donde se presenten las condiciones climáticas favorables para su desarrollo.

Contribuciones de autores

ATCP y TTA concibieron el estudio y el diseño experimental. ATCP fue responsable de los experimentos, del registro de datos, de su análisis y de la redacción del artículo. TTA supervisó el experimento, el análisis estadístico, la redacción del artículo y coordinó el proyecto. CGH exploró localidades para encontrar árboles de las especies requeridas, dio seguimiento de la fructificación y colecta de las bellotas,



supervisó la herborización de los ejemplares para el Herbario XAL, revisó la descripción de las especies y su hábitat, y contribuyó a la revisión de todo el escrito.

Financiamiento

El estudio formó parte del proyecto “Safeguarding Threatened Tropical Montane Cloud Forest Oaks in Mesoamerica” en colaboración con The Morton Arboretum, financiado por la Fundación Franklinia y por el Instituto de Ecología, A.C. (proyecto no. 20030-11218).

Agradecimientos

Agradecemos al INECOL por todas las facilidades para realizar el estudio y a la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) por facilitarnos el uso de sus instalaciones. Agradecemos a Silvia Álvarez-Clare, Siunelly Landero, Carlos Aldair Zarate, Carlos Iglesias Delfín, Víctor Vásquez Reyes y Uriel Rodríguez Zambrano, por su apoyo en el desarrollo del estudio.

Literatura citada

- Alvarado-López, S., D. Soriano, N. Velázquez, A. Orozco-Segovia y A. Gamboa-deBuen. 2014. Priming effects on seed germination in *Tecoma stans* (Bignoniaceae) and *Cordia megalantha* (Boraginaceae), two tropical deciduous tree species. *Acta Oecologica* 61: 65-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2014.10.007>
- Argüelles-Marrón, B., J. A. Meave, I. Luna-Vega, D. B. Crispin-DelaCruz, P. Szejner, F. N. Ames-Martínez y E. C. Rodríguez-Ramírez. 2023. Adaptation potential of Neotropical montane oaks to drought events: Wood anatomy sensitivity in *Quercus delgadoana* and *Quercus meavei*. *Functional Ecology* 37(7): 2040-2055. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14362>
- Badano, E. I., O. R. Samour-Nieva, J. Flores y D. Douterlungne. 2015. Microclimate and seedling predation as drivers of tree recruitment in human-disturbed oak forests. *Forest Ecology and Management* 356: 93-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.07.031>
- Badano, E. I. y E. Sánchez-Montes de Oca. 2022. Seed fate, seedling establishment and the role of propagule size in forest regeneration under climate change conditions. *Forest Ecology and Management* 503: 119776. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119776>
- Becerra-Vázquez, A. G., R. Coates, S. Sánchez-Nieto, R. Reyes-Chilpa y A. Orozco-Segovia. 2020. Effects of seed priming on germination and seedling growth of desiccation-sensitive seeds from Mexican tropical rainforest. *Journal of Plant Research* 133(6): 855-872. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-020-01220-0>
- Benítez-Rodríguez, L., A. Gamboa-deBuen, M. E. Sánchez-Coronado, S. Alvarado-López, D. Soriano, I. Méndez, S. Vázquez-Santana, J. Carabias-Lillo, A. Mendoza y A. Orozco-Segovia. 2014. Effects of seed burial on germination, protein mobilisation and seedling survival in *Dodonaea viscosa*. *Plant Biology* 16(4): 732-739. DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.12110>
- Bonal, R., A. Muñoz y M. Díaz. 2007. Satiation of predispersal seed predators: the importance of considering both plant and seed levels. *Evolutionary Ecology* 21: 367-380. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10682-006-9107-y>
- Caliskan, S. 2014. Germination and seedling growth of holm oak (*Quercus ilex* L.): Effects of provenance, temperature, and radicle pruning. *IForest-Biogeosciences and Forestry* 7(2): 103-109. DOI: <https://doi.org/10.3832/for0967-007>
- Camacho-Cruz, A., M. González-Espinosa, J. H. D. Wolf y B. H. J. De Jong. 2000. Germination and survival of tree species in disturbed forests of the highlands of Chiapas, Mexico. *Canadian Journal of Botany* 78(10): 1309-1318. DOI: <https://doi.org/10.1139/b00-103>
- Carrero, C., D. Jerome, E. Beckman, A. Byrne, A. J. Coombes, M. Deng, A. González-Rodríguez, H. Van Sam, E. Khoo, N. Nguyen, I. Robiansyah, H. Rodríguez-Correa, J. Sang, Y. G. Song, J. Strijk, J. Sugau, W. Sun, S. Valencia-Ávalos y M. Westwood. 2020. The Red List of oaks 2020. The Morton Arboretum. Lisle, USA.
- Castro-Colina, L., M. Martínez-Ramos, M. E. Sánchez-Coronado, P. Huante, A. Mendoza y A. Orozco-Segovia. 2012. Effect of hydropriming and acclimation treatments on *Quercus rugosa* acorns and seedlings. *European Journal of Forest Research* 131: 747-756. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0548-7>
- Cavender-Bares, J. 2019. Diversification, adaptation, and community assembly of the American oaks (*Quercus*), a



- model clade for integrating ecology and evolution. *New Phytologist* 221(2): 669-692. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15450>
- Center, A., J. R. Ettersson, N. J. Deacon y J. Cavender-Bares. 2016. Seed production timing influences seedling fitness in the tropical live oak *Quercus oleoides* of Costa Rican dry forests. *American Journal of Botany* 103(8): 1407-1419. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1500389>
- Chambers, J. C. y J. A. MacMahon. 1994. A day in the life of a seed: Movements and Fates of Seeds and Their implications for Natural and Managed Systems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 25: 263-292. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.25.110194.001403>
- CONAFOR. 2017. Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2009-2014. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Jalisco, México.
- Crawley, M. J. 2013. *The R Book* (2nd ed.). Wiley. Chichester, UK. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118448908>
- García-De La Cruz, Y., F. López-Barrera y J. M. Ramos-Prado. 2016. Germination and seedling emergence of four endangered oak species. *Madera y Bosques* 22(2): 77-87. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221326>
- García-Hernández, M. D., F. López-Barrera y R. Perea. 2023. Simulated partial predation on the largest-seeded oak: Effects of seed morphology and size on early establishment. *Forest Ecology and Management* 534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120863>
- García-Hernández, M. A., F. López-Barrera y V. M. Vásquez-Reyes. 2016. Microhabitat affects acorn removal in three sympatric and endangered Neotropical oak species. *Ecological Research* 31(3): 343-351. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-016-1342-2>
- Garcías-Morales, C., A. Orozco-Segovia, D. Soriano y S. Zuloaga-Aguilar. 2021. Effects of *In situ* Burial and Sub-Optimal Storage on Seed Longevity and Reserve Resources in Sub-Tropical Mountain Cloud Forest Tree Species of Mexico. *Tropical Conservation Science* 14: 1940082921989196. DOI: <https://doi.org/10.1177/1940082921989196>
- Gómez, J. M., C. Puerta-Piñero y E. W. Schupp. 2008. Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia* 155: 529-537. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0928-3>
- González-Espinosa, M., J. A. Meave, F. G. Lorea-Hernández, G. Ibarra-Manríquez y A. C. Newton (eds.). 2011. *The Red List of Mexican Cloud Forest Trees*. Fauna & Flora International; BGCI Plants for the Planet; The Global Trees Campaign; IUCN; Species Survival Commission's. Cambridge, UK. 153 pp.
- González-Rodríguez, V., I. C. Barrio y R. Villar. 2012. Within-population variability influences early seedling establishment in four Mediterranean oaks. *Acta Oecologica* 41: 82-89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.04.008>
- González-Zertuche, L., C. Vázquez-Yanes, A. Gamboa, M. E. Sánchez-Coronado, P. Aguilera y A. Orozco-Segovia. 2001. Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: Effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research* 11: 27-34. DOI: <https://doi.org/10.1079/SSR200057>
- Hawkins, T. S. 2019. Regulating acorn germination and seedling emergence in *Quercus pagoda* (Raf.) as it relates to natural and artificial regeneration. *New Forests* 50: 425-436. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9667-z>
- INEGI. s.f. Mapa interactivo. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=300790021> (consultado noviembre de 2024).
- Kaliniewicz, Z. y P. Tylek. 2018. Influence of Scarification on the Germination Capacity of Acorns Harvested from Uneven-Aged Stands of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.). *Forests* 9(3): 100. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9030100>
- Löf, M., J. Castro, M. Engman, A. B. Leverkus, P. Madsen, J. A. Reque, A. Villalobos y E. S. Gardiner. 2019. Tamm Review: Direct seeding to restore oak (*Quercus* spp.) forests and woodlands. *Forest Ecology and Management* 448: 474-489. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2019.06.032>
- Lorea-Hernández, F., C. Durán-Espinosa, C. Gallardo-Hernández, S. Avendaño-Reyes y L. Tlaxcalteco. 2020. Plantas con semillas. In: Samain, M. S. y G. Castillo-Campos (eds.). *Biodiversidad del Santuario del Bosque de Niebla, Xalapa, Veracruz*. Instituto de Ecología, A.C. Veracruz, México. 321 pp.
- Magnitskiy, S. y G. Plaza. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana* 25(1): 96-103.



- Martínez-Pérez, G., A. Orozco-Segovia y C. Martorell. 2006. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la mixteca alta oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Botanical Sciences* (79): 9-20. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1729>
- Orozco-Segovia, A. y M. E. Sánchez-Coronado. 2009. Functional diversity in seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology. In: Gamboa-deBuen, A., A. Orozco-Segovia y F. Cruz-Garcías (eds.). *Functional diversity of plant reproduction*. Research Signpost. Kerala, India. Pp. 175-216.
- Orozco-Segovia, A., M. E. Sánchez-Coronado, J. A. Martínez-Villegas, L. V. Pedrero-López, A. Becerra-Vázquez, A. Rosete-Rodríguez y H. Peraza-Villarreal. 2014. Ecofisiología de semillas de plantas tropicales: El acondicionamiento mático, una herramienta útil para germinar especies nativas útiles para la restauración y conservación de especies. In: dos Santos Silva, C. W., L. C. do Nascimento Moura, L. Cristina e L. F. A. Ribeiro dos Santos (eds.). *Botânica na America Latina: Conhecimento, interação e difusão*. Memórias del XI Congreso Latinoamericano de Botánica, LXV Congresso Nacional de Botânica; XXXIV ERBOT-MG, BA, ES. Sociedade Botânica do Brasil. BA, Brazil. Pp. 194-203.
- Ortiz-Colín, P., T. Toledo-Aceves, F. López-Barrera y P. Gerez-Fernández. 2017. Can traditional selective logging secure tree regeneration in cloud forest? *iForest-Biogeosciences and Forestry* 10(2): 369-375. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer1937-009>
- Pelissari, F., A. C. José, M. A. Leite Fontes, A. C. Batista Matos, W. V. Souza Pereira y J. M. Rocha Faria. 2018. A probabilistic model for tropical tree seed desiccation tolerance and storage classification. *New Forests* 49: 143-158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9610-8>
- Peraza-Villarreal, H., M. E. Sánchez-Coronado, R. Lindig-Cisneros, C. Tinoco-Ojanguren, N. Velázquez-Rosas, L. Cámara-Cabrales y A. Orozco-Segovia. 2018. Seed Priming Effects on Germination and Seedling Establishment of Useful Tropical Trees for Ecological Restoration. *Tropical Conservation Science* 11: 15. DOI: <https://doi.org/10.1177/1940082918817886>
- Perea García-Calvo, R., A. San Miguel Ayanz y L. Gil Sánchez. 2009. Dispersión secundaria de semillas de robles (*Quercus petraea* y *Quercus pyrenaica*) en el Hayedo de Montejo (Madrid). 5° Congreso Forestal Español: Montes y sociedad: Saber qué hacer. Sociedad Española de Ciencias Forestales. León, España. 13 pp.
- Pulido, F. J. y M. Díaz. 2005. Regeneration of a Mediterranean oak: A whole-cycle approach. *Écoscience* 12(1): 92-102. DOI: <https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-1-92.1>
- Rodríguez-Acosta, M. y A. J. Coombes (eds.). 2020. *Manual de propagación de Quercus: Una guía fácil y rápida para cultivar encinos en México y América Central*. Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 79 pp.
- Rodríguez-Zambrano, E. 2024. *Ecología de la regeneración de Quercus paxtalensis* C.H. Mull. y *Quercus pinnativenulosa* C.H. Mull., especies amenazadas del bosque de niebla. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México. 61 pp.
- Toledo-Aceves, T. 2017. Germination rate of endangered cloud forest trees in Mexico: potential for *ex situ* propagation. *Journal of Forest Research* 22(1): 61-64. DOI: <https://doi.org/10.1080/13416979.2016.1273083>
- Toledo-Aceves, T., M. Bonilla-Moheno, V. J. Sosa, F. López-Barrera y G. Williams-Linera. 2022. Leaf functional traits predict shade tolerant tree performance in cloud forest restoration plantings. *Journal of Applied Ecology* 59(9): 2274-2286. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14128>
- Toledo-Aceves, T., C. Sáenz-Romero, A. L. Cruzado-Vargas y V. Vázquez-Reyes. 2023. *Quercus insignis* seedling response to climatic transfer distance in the face of climate change. *Forest Ecology and Management* 533: 120855. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120855>
- Toledo-Aceves, T., A. L. Trujillo-Miranda y F. L. López-Barrera. 2021. Tree regeneration in active and passive cloud forest restoration: Functional groups and timber species. *Forest Ecology and Management* 489: 119050. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119050>
- Toledo-Garibaldi, M., C. Gallardo-Hernández, T. Ulián y T. Toledo-Aceves. 2023. Urban forests support natural regeneration of cloud forest trees and shrubs, albeit with limited occurrence of late-successional species. *Forest Ecology and*



- Management 546: 121327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121327>
- Valencia-Avalos, S., K. C. Nixon y L. M. Kelly. 2011. *Quercus delgadoana* (Fagaceae), a new species from the Sierra Madre Oriental, Mexico. Novon 21(2): 274-277. DOI: <http://dx.doi.org/10.3417/2009054>
- Valencia-A., S., J. L. Sabas Rosales y O. J. Soto Arellano. 2016. A new species of *Quercus*, section *lobatae* (Fagaceae) from the Sierra Madre Oriental, Mexico. Phytotaxa 269(2): 120-126. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.269.2.5>
- Vázquez-Yanes, C., A. Batis-Muñoz, M. Alcocer-Silva, M. Gual-Díaz y C. Sánchez-Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 14 pp.
- Walck, J. L., S. N. Hidayati, K. W. Dixon, K. Thompson y P. Poschlod. 2011. Climate change and plant regeneration from seed. Global Change Biology 17(6): 2145-2161. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02368.x>
- Xia, K., M. I. Daws y L. L. Peng. 2022. Climate drives patterns of seed traits in *Quercus* species across China. New Phytologist 234(5): 1629-1638. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.18103>
- Zavala-Chávez, F. 2004. Desecación de bellotas y su relación con la viabilidad y germinación en nueve especies de encinos mexicanos. Ciencia Ergo Sum 11(2): 177-185.



Apéndice. Localización y atributos de los árboles semilleros de *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly, y *Q. meavei* S. Valencia, Sabas y O. J. Soto. DAP=Diámetro a la altura del pecho.

Especie	No. individuo	Localidad	Coordenadas	Altitud (m s.n.m.)	DAP	Altura (m)
<i>Quercus delgadoana</i> S. Valencia, Nixon y L.M. Kelly	1	Totoyac	19°42'34.5"N, 96°46'32.8"O	1882	57.9	15
	2	Totoyac	19°42'34.7"N, 96°46'32.7"O	1874	46.1	16
<i>Quercus meavei</i> S. Valencia, Sabas y O.J. Soto	1	Totoyac	19°42'34.7"N, 96°46'32.7"O	1868	46.7	18
	2	Totoyac	19°42'39.7"N, 96°46'27.3"O	1908	45.5	8
	3	Tetlaxca	19°31'18.6"N, 96°56'21.8"O	1415	96.5	23
	4	Tetlaxca	19°21'14.7"N, 97°03'46.6"O	1433	59.8	18
	5	Tetlaxca	19°21'17.5"N, 97°03'47.7"O	1430	40	15
	6	Tetlaxca	19°21'17.5"N, 97°03'47.4"O	1514	37	16
	7	Tetlaxca	19°21'17.7"N, 97°03'47.7"O	1518	83.2	20

