



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**TESIS**

“Evaluación de la germinación de *Quercus meavei* Valencia-A., Sabás & Soto y *Quercus delgadoana* S. Valencia, Nixon & L.M. Kelly., especies amenazadas del bosque mesófilo de montaña”

Tesis que para obtener el título de  
**LICENCIADO (A) EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA:**

Ana Teresa Castañón Malpica

**DIRECTOR (A):**

Dra. Mariana Tarín Toledo Aceves



Marzo, 2024

## Índice

<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>8</b>
EL BOSQUE DE NIEBLA.....	8
IMPORTANCIA DE LA REINTRODUCCIÓN DE PLANTAS Y LA GERMINACIÓN PARA LA REGENERACIÓN DE BOSQUES.....	8
CARACTERÍSTICAS DE LAS SEMILLAS.....	9
EFECTO DEL ACONDICIONAMIENTO NATURAL EN LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS.....	9
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>11</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>PREGUNTAS E HIPÓTESIS .....</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
OBJETIVO GENERAL .....	14
OBJETIVOS PARTICULARES.....	14
<b>ECOLOGÍA DE LAS ESPECIES, DISTRIBUCIÓN Y USOS.....</b>	<b>15</b>
<i>QUERCUS DELGADOANA</i> .....	15
<i>QUERCUS MEAVEI</i> .....	16
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
<b>ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>27</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>38</b>

## Resumen

Los encinos son un grupo importante en la estructura y función de los bosques. *Quercus delgadoana* y *Q. meavei* son especies con distribución restringida al bosque mesófilo de montaña en México y ambas se encuentran catalogadas como especies amenazadas debido a que la cobertura de los bosques de niebla ha sido drásticamente reducida. La información disponible sobre la ecología y regeneración de estas especies es limitada. Durante la fase de regeneración, crucial en el ciclo de vida de las plantas, las semillas experimentan fuertes presiones de selección. Se estudió la germinación de las semillas y emergencia de la plúmula en las dos especies en condiciones controladas, evaluando el efecto del tratamiento pregerminativo de acondicionamiento natural (AN), el cual consiste en el enterramiento de las semillas en suelo forestal con el fin de aumentar y acelerar la germinación. Se colectaron semillas en las localidades de Totoyac y Tetlaxca, en el estado de Veracruz, en 2022. De la primera localidad, se colectaron 600 semillas de *Q. delgadoana* y 400 semillas de *Q. meavei*, y de la segunda localidad se obtuvieron 400 semillas de *Q. meavei*. Las semillas se dividieron en dos grupos, tratamiento de AN y control. El primer grupo fue sometido al tratamiento de AN en el Santuario de Bosque de Niebla del Instituto de Ecología A.C. (INECOL) en Veracruz, en donde se realizó el enterramiento de las semillas de ambas localidades por tres días para *Q. delgadoana* (momento en el que comenzaron a germinar) y 15 días para *Q. meavei* (tiempo límite determinado para evitar pudrición). El grupo control fue conservado en refrigeración durante el mismo periodo de tiempo en que las semillas estuvieron expuestas al tratamiento de AN. Posterior al enterramiento y refrigeración, las semillas fueron sembradas simultáneamente en un invernadero del Área Natural Protegida “Francisco Javier Clavijero” y se registraron los datos de germinación y emergencia de la plúmula para ambos grupos. De la localidad de Totoyac, las semillas de *Q. delgadoana* tuvieron una germinación total de  $82.0 \pm 4.6$  % (promedio  $\pm$  e.e.), con un promedio de 44.5 % de contenido de humedad, y las semillas de *Q. meavei* presentaron una germinación total de  $23.0 \pm 2.1$  %, con un contenido de humedad de 65.7%. Para las semillas de *Q. meavei* de Tetlaxca, se encontró un valor de germinación total de  $62.0 \pm 7.7$  %, con un contenido de humedad de 42.7 %. No encontramos evidencia que apoye que el AN acelere la tasa de germinación ni la sincronidad en este proceso, tampoco que exista un incremento en la germinación total de *Q. delgadoana* y *Q. meavei*. Los resultados tampoco mostraron que el tratamiento haya tenido un efecto sobre la sincronidad en la emergencia de las plántulas. El AN tuvo un

efecto negativo sobre la germinación total de ambas especies en comparación con el Control. El grupo control alcanzó un porcentaje de germinación más alto en las semillas de *Q. delgadoana* (AN =  $73.5 \pm 5.4$  y Control =  $82.0 \pm 4.6$  %) y en las semillas de *Q. meavei* de la localidad de Tetlaxca (AN =  $35.4 \pm 6.7$  % y Control =  $62.0 \pm 7.72$  %). Ambas especies muestran un alto porcentaje de germinación lo que indica un buen potencial de propagación en vivero. El estudio contribuye al conocimiento de la ecología de estas especies, así como su respuesta al AN.

## Introducción

En la actualidad, la restauración ecológica de bosques tropicales es una tarea urgente debido a que se encuentran entre los ecosistemas más amenazados por la deforestación y degradación (FAO, 2015). Dentro de los bosques tropicales, el bosque de niebla, también conocido como bosque mesófilo de montaña en México (*sensu* Rzedowski, 2006), es considerado un ecosistema prioritario para la conservación, el manejo y la restauración debido a su importancia ecológica y al deterioro que ha experimentado (CONABIO, 2010). En México, el bosque de niebla ha sido afectado principalmente por el cambio de la cubierta forestal para su conversión a otros usos del suelo (Muñoz-Villers y Lopez-Blanco, 2008; Toledo-Aceves et al., 2011). La generación de conocimiento, así como la aplicación de estrategias para el restablecimiento de procesos ecológicos que permitan la recuperación de su biodiversidad, estructura y funcionamiento son por lo tanto tareas cruciales.

El bosque de niebla es altamente rico en recursos y diverso en especies, con características particulares en cuanto a su estructura y biología, contiene especies de árboles tanto perennifolios como caducifolios, abundante en pteridofitas y epífitas presentes en el sotobosque, así como en el dosel (Williams-Linera, 2012). Este bosque se caracteriza por tener un alto nivel de humedad (Bruijnzeel et al., 2011). Los bosques de niebla son comunidades heterogéneas en su composición, ubicadas en regiones montañosas tropicales, se caracterizan por ser bosques de transición entre ecosistemas con vegetación tropical y templado debido a las condiciones climáticas específicas que requieren para desarrollarse (CONABIO, 2010). El bosque de niebla en México se encuentra principalmente en laderas empinadas y barrancos protegidos (González-Espinosa et al., 2011). Es un ecosistema de suma importancia ya que presenta un gran número de endemismos y tiene un papel importante en la regulación del ciclo hidrológico (Hamilton, 1995; Bruijnzeel, 2001). Además de la importancia ecológica intrínseca de la biodiversidad, numerosas especies de plantas y animales del bosque de niebla representan una fuente importante de productos para usos maderables, medicinales, ceremoniales, alimentarios, y fines comerciales para los habitantes de estas áreas (Ortega-Escalona y Castillo-Cam, 1996; Eleuterio y Pérez-Salicrup, 2006; Endress et al., 2006; CONABIO, 2010).

El bosque de niebla alberga una gran diversidad de especies de árboles. Son un grupo de gran importancia ecológica dentro de estos bosques, ya que cumplen importantes funciones proporcionando hábitat y alimento para aves y pequeños mamíferos, así como por sus relaciones con ectomicorrizas, también juegan un papel central en el ciclo de nutrientes y en el funcionamiento de los ecosistemas forestales (Cavender-Bares, 2019). Los encinos se han adaptado a una gran diversidad de hábitats, ocupando rangos amplios de elevación y clima (Cavender-Bares, 2018). Si bien los encinos pueden establecerse en sitios perturbados (Ortiz-Colín et al., 2017; Toledo-Aceves et al., 2021), en bosques de niebla secundarios la densidad de plántulas de encinos es mucho menor que en bosques conservados (Ortiz-Colín et al., 2017; Toledo-Aceves et al., 2021). La baja regeneración puede deberse a múltiples causas, principalmente a factores ambientales como sequías, falta de agua o inundaciones, otros factores que también pueden afectar son la calidad y composición del suelo, así como las interacciones entre especies como la depredación, herbivoría, enfermedades y competencias (Palma y Laurance, 2015; Löff et al., 2019). Debido a la pérdida de hábitat y a la sobreexplotación, muchas especies de encinos se encuentran en alguna categoría de amenaza (González-Espinoza et al., 2011). La Lista Roja de encinos de la IUCN (Carrero et al., 2020) reporta que, de las 430 especies evaluadas en el mundo, 217 se encuentran en alguna categoría de riesgo. México alberga la mayor riqueza de especies de encinos en el mundo; de las 164 especies que se han registrado en nuestro país, 32 están en una categoría de amenaza (IUCN, 2020). Para contribuir a la recuperación de las poblaciones de especies de interés, y de las funciones asociadas en el ecosistema, se ha propuesto la reintroducción de semillas y de plántulas (Castro-Colina et al., 2012; Toledo-Aceves et al. 2022). Sin embargo, la siembra directa de semillas de encinos en bosque de niebla secundario presenta bajo éxito debido al bajo número de plántulas que logran establecerse. Se ha reportado un mayor éxito en el porcentaje de supervivencia de plántulas trasplantadas en comparación con la siembra directa de semillas (Palma y Laurence, 2015) ya que se ha visto que la supervivencia de semillas en siembra directa es menor al 10% (Rodríguez-Zambrano, 2023).

El establecimiento temprano de las plántulas es una de las etapas más importantes en el ciclo de vida de los árboles (Longman, 2003) y la variación en la tasa de germinación puede tener implicaciones importantes para el éxito en la regeneración (Begon et al., 2020). Durante la germinación, las semillas de los encinos se encuentran expuestas a diferentes factores que pueden afectar su desarrollo tales como: interacciones bióticas como el daño

por insectos (Branco et al., 2002), la depredación de pequeños mamíferos, así como por las condiciones ambientales cambiantes que afectan la tasa de germinación, específicamente de las especies con semillas recalcitrantes (sensibles a la desecación), así como el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas (Badano et al., 2022).

Existen diversos tratamientos pregerminativos, por ejemplo, el acondicionamiento natural, que pueden resultar eficaces para aumentar la tasa de germinación y el éxito en la germinación total, refiriéndose al total de las semillas de un lote que logran germinar en un tiempo determinado (Becerra-Vázquez et al., 2018; Hill et al., 2012; Orozco-Segovia & Sánchez-Coronado, 2009; Castro-Colina et al., 2012). El acondicionamiento natural consiste en el enterramiento de las semillas en el suelo forestal, posterior a su dispersión por un periodo determinado o hasta que estas germinan o mueren. Durante el acondicionamiento natural 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), lo cual puede incrementar la tasa de germinación de las semillas y la germinación final (Becerra-Vázquez et al., 2020), así como contribuir a la sincronía de la germinación dentro de cada especie (Sharma et al., 2014). En el presente estudio se evaluó el efecto del acondicionamiento natural sobre la germinación de *Quercus delgadoana* y *Q. meavei*, especies simpátricas del bosque de niebla, también encontradas en poblaciones en donde no coexisten, ambas en categoría de amenaza (Carrero et al. 2020).

## **Antecedentes**

El bosque de niebla.

Los bosques de niebla en México se encuentran fragmentados y degradados como resultado de las actividades humanas, incluida la deforestación para la agricultura, el pastoreo del ganado y la tala de árboles para madera, leña y carbón (Ramírez-Marcial et al., 2001; Williams-Linera, 2002). Originalmente se estima que el bosque de niebla ocupaba ~ 1% de la extensión de bosques tropicales. Desafortunadamente, en la actualidad su superficie se ha reducido a menos de la mitad del área original (Mulligan, 2010). En México, la cobertura actual del bosque de niebla es aproximadamente 55% de la original (CONAFOR, 2017). En el estado de Veracruz, los bosques de niebla se han reducido a pequeños parches rodeados de pastizales, cafetales, campos y asentamientos humanos (Williams-Linera, 2002). Aunado a estos factores de cambio, los bosques de niebla en particular se encuentran bajo una gran amenaza ya que tienen una distribución restringida y dependen de altos niveles de humedad por lo que se ven severamente afectados también por las alteraciones en los patrones de nubosidad y precipitación asociados al cambio climático global (Mata-Guel et al., 2023).

Importancia de la reintroducción de plantas y la germinación para la regeneración de bosques.

El cambio climático aunado a otros factores como el cambio de uso de suelo en ecosistemas como el bosque de niebla resulta en la pérdida de cobertura vegetal y en la presencia de factores limitantes para la regeneración de especies de árboles (Toledo-Aceves et al., 2021). En los ya fragmentados bosques tropicales de México esto ha afectado a numerosas especies arbóreas (González-Espinosa et al., 2011). En particular para el bosque de niebla se ha observado que la regeneración de especies arbóreas de sucesión intermedia y tardía se reduce notablemente (0.2 y 1.6 ind./m<sup>2</sup>, comparando un bosque secundario y un bosque conservado respectivamente) (Toledo-Aceves et al., 2021). Estos factores en particular, pueden perjudicar el establecimiento de plántulas de encinos como se ha reportado para *Quercus crassifolia* y *Q. eduardii*, especies de la sección Lobatae con distribución en México, su desarrollo se encontrará limitado por la reducción de habitat (Pérez-Ruiz et al., 2018).

La germinación de las semillas es una etapa fundamental en el desarrollo de los árboles (Longman, 2003) y crucial para la regeneración y restauración de los bosques. En el caso de especies amenazadas, la germinación exitosa es crucial para mantener y recuperar sus poblaciones. Estudios recientes reportan diferentes tratamientos pregerminativos que pueden aumentar la tasa de germinación y la germinación total en especies con semillas recalcitrantes (Becerra-Vázquez et al., 2020; Garcias-Morales et al., 2021; Orozco-Segovia & Sánchez-Coronado, 2009; Castro-Colina et al., 2012). Beneficiar el vigor de las semillas y crecimiento de las plántulas, así como su reintroducción resultan ser alternativas viables para contrarrestar la gran pérdida de poblaciones en bosques tropicales (Becerra-Vázquez et al., 2018).

#### Características de las semillas.

La mayoría de las especies del género *Quercus* poseen semillas recalcitrantes o sensibles a la desecación, las cuales se caracterizan por un alto contenido de humedad al momento de la dispersión, rápida germinación y una corta longevidad (Berjak & Pammenter, 2007; Pelissari et al., 2018). Las semillas recalcitrantes son sensibles a la desecación por lo que un incremento en la temperatura y la reducción en los niveles de precipitación pueden resultar en la rápida pérdida de humedad en estas semillas, reduciendo su viabilidad así como su posibilidad de germinar (Zavala-Chávez, 2008). Debido a sus características, las semillas recalcitrantes no son viables para ser almacenadas en bancos de semillas como forma de conservación *ex situ*.

#### Efecto del acondicionamiento natural en la germinación de las semillas.

Al estar sometidas al tratamiento pregerminativo de acondicionamiento natural, las semillas pasan por un periodo de enterramiento en el suelo forestal, en el cual se encuentran expuestas a variaciones en la concentración de humedad, al pasar por este periodo de enterramiento, las semillas sufren cambios fisiológicos y bioquímicos benéficos para la germinación (Alvarado-López et al., 2018). Cuando la humedad del suelo aumenta, las semillas pasan por procesos relacionados con la germinación, como el reblandecimiento de las paredes de la semilla facilitando la entrada de agua al embrión lo que puede incentivar la emergencia de la radícula (Peraza-Villareal et al., 2018; Becerra-Vázquez et al., 2020). 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* (Gómez et al., 2008; Pulido & Díaz, 2016), las semillas de *Bursera simarouba* y *Poulsenia armata* por escarabajos del estiércol (Urrea-Galeano et al., 2019), así como también por el cubrimiento de hojarasca (Perea García-Calvo y Ayans, 2009), la cual puede brindar protección a las bellotas para evitar desecación, así como protección ante depredadores (Chambers & MacMahon, 1994). Los tratamientos pregerminativos son una gran herramienta para ayudar a las semillas durante la etapa de germinación, promoviendo alternativas viables para la restauración de los bosques tropicales (Becerra-Vásquez et al., 2020).

En años recientes se ha reportado que los tratamientos de acondicionamiento pueden beneficiar la germinación en el proceso de germinación (Benitez-Rodriguez et al., 2014; Orozco-Segovia et al., 2014; Pedrero-López et al., 2016; Singh y Chaturvedi, 2018), lo que puede facilitar la producción de plántulas para fines de restauración y conservación, así como asegurar una emergencia más homogénea de plántulas, lo cual resulta beneficioso frente a la rápida pérdida de viabilidad en las semillas (Kaliniewicz y Tylek, 2018). El acondicionamiento natural ha tenido efectos positivos en el aumento de la tasa de germinación y porcentaje de germinación total de *Cupania glabra* y *Cymbopetalum baillonii*, especies con semillas recalcitrantes del bosque tropical lluvioso en Los Tuxtlas, Veracruz, México (Becerra-Vásquez et al., 2020). En un estudio reciente sobre el efecto del acondicionamiento natural en especies de árboles del bosque de niebla, Garcías-Morales et al. (2021) reportaron que al mantener las semillas enterradas durante un periodo prolongado (30 días), se observó un aumento notable en la germinación de *Quercus nixoniana*. Sin embargo, el efecto del tratamiento puede variar ampliamente dependiendo de la especie, y existen pocos estudios acerca de tratamientos pregerminativos en especies con semillas recalcitrantes o intolerantes a la desecación, como son los encinos.

## **Planteamiento del problema**

Como resultado de la pérdida de bosque de niebla causada por la sobreexplotación, muchas poblaciones de especies de árboles se han reducido. De acuerdo con la Lista Roja de especies de árboles del bosque de niebla de la IUCN, aproximadamente 60% se encuentra en una categoría de amenaza (González-Espinoza et al., 2011). En particular, los encinos representan un grupo de árboles importante en la estructura y funcionamiento de los bosques de niebla, desafortunadamente su regeneración es baja en sitios perturbados (Toledo-Aceves et al., 2021). En zonas perturbadas, se requieren intervenciones para asistir a la recuperación de especies de árboles amenazadas. La propagación desempeña un papel fundamental para fines de conservación de las especies de encino amenazadas, así como en la restauración de su hábitat. Implementar prácticas de propagación adecuadas no solo contribuye a la preservación de estas especies vulnerables, sino que también favorece a la recuperación de sus hábitats.

## **Justificación**

La germinación de las semillas es una etapa fundamental en el desarrollo de los árboles y crucial para la regeneración y restauración de los bosques, previa a esta, las semillas se encuentran expuestas a factores ambientales, tanto bióticos como abióticos, que afectan el reclutamiento de nuevos individuos. En el caso de especies amenazadas, la germinación exitosa es crucial para mantener y recuperar sus poblaciones. Sin embargo, existe limitada información sobre la germinación de muchas especies de árboles del bosque de niebla con semillas sensibles a la desecación, también conocidas como recalcitrantes, y sobre su respuesta a tratamientos de acondicionamiento (Becerra-Vásquez et al., 2020). En años recientes se ha reportado que los tratamientos de acondicionamiento pueden ser una opción para mejorar la germinación, lo cual puede contribuir a las prácticas de restauración y conservación (Benitez-Rodríguez et al., 2014; Orozco-Segovia et al., 2014; Pedrero-Lopez et al., 2016; Singh y Chaturvedi, 2018).

Los tratamientos pregerminativos de acondicionamiento no sólo resultan eficaces sino también viables para ser aplicados por las comunidades locales ya que son económicos y el proceso es de fácil aplicación, el rendimiento de las semillas y las plántulas se puede aumentar aplicando un tratamiento a las semillas antes de trasplantarlas al campo (Benitez-Rodríguez et al., 2014; Singh & Chaturvedi, 2018). El acondicionamiento natural se ha aplicado con éxito por ejemplo en *Q. nixoniana* en Jalisco, una especie amenazada del bosque de niebla endémica de México (Garcias-Morales et al., 2021).

## **Preguntas e Hipótesis**

¿El tratamiento de acondicionamiento natural puede aumentar la tasa de germinación y la germinación total?

El acondicionamiento natural (AN) se propone como un tratamiento pregerminativo en el cual las semillas son enterradas en el suelo durante un periodo previo a la ocurrencia de la germinación, exponiéndolas a cambios en la humedad del suelo forestal para promover el proceso de germinación. Por lo tanto, se espera que las semillas de *Quercus delgadoana* y *Quercus meavei* en el tratamiento de AN presenten mayor germinación total y un aumento en la tasa de germinación, en comparación con las semillas sembradas sin tratamiento (control).

## **Objetivos**

### Objetivo general

Evaluar la germinación y emergencia de semillas de *Quercus meavei* y de *Quercus delgadoana*, especies de encinos en categoría de amenaza del bosque de niebla.

### Objetivos particulares

- Caracterizar el tamaño, el peso fresco y el contenido de humedad de las semillas de las dos especies.
- Determinar la germinación total de las semillas de las dos especies en condiciones controladas
- Evaluar el efecto del tratamiento “acondicionamiento natural” sobre la tasa de germinación, la germinación total y la emergencia de plántulas.

## **Ecología de las especies, distribución y usos**

La mayoría de los encinos, son árboles grandes que alcanzan los 20-30 metros de altura, pero existe una extraordinaria diversidad morfológica y ecológica en las diversas regiones y ecosistemas donde crecen (Menitsky, 2005). La selección de las especies se llevó a cabo considerando su categoría de amenaza y debido a que son dos especies recientemente descritas, exclusivas al bosque de niebla y sobre las cuales no existe información acerca de su regeneración. Adicionalmente a esto, debido a su importancia ecológica han sido consideradas como parte del proyecto “Safeguarding Threatened Tropical Montane Cloud Forest Oaks in Mesoamerica” coordinado por la Dra. Tarin Toledo Aceves, el cual tiene por objetivo contribuir a la restauración de bosques rivereños con especies amenazadas de encinos en el paisaje del bosque de niebla del centro de Veracruz.

### *Quercus delgadoana*

Especie de la sección Lobatae, endémica de México, su distribución está restringida a los bosques de niebla de la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, alcanza 25 m de altura, con ramillas glabras y lenticeladas, hojas glabras, coriáceas elípticas o lanceoladas, bellotas ovoides (Fig. 1), las flores son producidas en marzo y los frutos en el mes de octubre, esto ocurre bianualmente (Valencia-Avalos et al. 2011). *Quercus delgadoana* está clasificada como especie amenazada (EN) de acuerdo con la lista roja internacional de encinos (Carrero et al., 2020) y 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 al 50 % en las próximas décadas como consecuencia de la pérdida de hábitat (Valencia-Avalos et al., 2011).



**Fig. 1.** Fotografías del árbol de *Quercus delgadoana* y rama con bellotas en la localidad de Totoyac, Veracruz.

*Quercus meavei*

Especie de la sección Lobatae, endémica de México, con distribución en la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz, se distribuye principalmente en barrancos protegidos cerca de pequeños arroyos donde prevalecen condiciones de alta humedad ( $\geq 90\%$ ) (Argüelles-Marron et al., 2022). Son árboles de 20-30 m de altura, ramillas con tricomas, hojas con láminas pubescentes y lanceoladas, frutos bianuales presentes en pedúnculos glabros, bellotas ovoides (Fig. 2). *Quercus meavei* 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.



**Fig. 2.** Fotografías de ramas con bellotas de *Quercus meavei* en la localidad de Tetlaxca, Veracruz.

## Metodología

Se realizaron dos colectas de semillas en los meses de agosto y octubre del 2022, determinando los sitios y el tiempo de colecta de acuerdo con la fenología de las especies en el estado de Veracruz (Valencia-Ávalos et al., 2011; Valencia-Ávalos et al., 2016). Los árboles semilleros de ambas especies fueron localizados en sitios altamente transformados (potreros), lo que destaca la importancia del estudio de estas especies. La primera colecta de semillas de *Q. delgadoana* (QD) y *Q. meavei* (QM) se realizó el 20 de septiembre en la localidad de Totoyac, dentro del municipio de Tepetlán en el estado de Veracruz. Se colectaron semillas de dos individuos o árboles madre pertenecientes a cada especie (QD1, QD2, QM1, QM2) (Tabla 1), debido a que no se pudieron encontrar más individuos de las especies estudiadas en el sitio explorado, solo se pudo tener un número reducido de árboles madre para la primera colecta de semillas. Durante los registros de la germinación en el invernadero de las semillas sometidas al acondicionamiento natural, se identificó que en su mayoría las semillas de *Q. meavei* permanecieron sin germinar por lo que se consideraron no viables y se decidió repetir el experimento con esta especie. La segunda colecta se realizó el 13 de octubre en la localidad de Tetlaxca, municipio de Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, en donde se colectaron semillas de cinco árboles madre de *Q. meavei* (QM3, QM4, QM5, QM6, QM7) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Número total de semillas colectadas y descartadas a partir de la prueba de flotabilidad de las dos colectas.

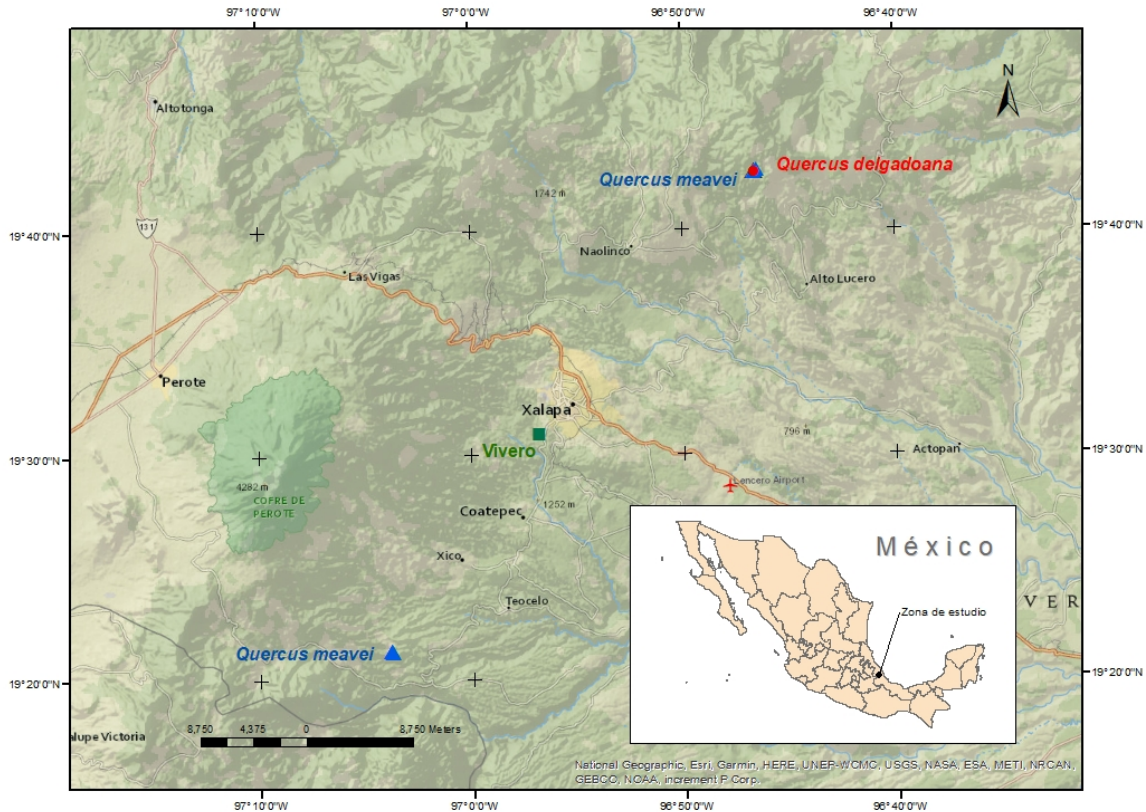
Especie e individuo	Fecha de colecta	Semillas colectadas	Fecha prueba flotabilidad	Descartadas	No viables (%)	Viables (%)
<i>Quercus delgadoana</i>						
Q. delgadoana 1	20-09-2022	149	21-09-2022	28	19.0	80.9
Q. delgadoana 2	20-09-2022	512	21-09-2022	28	5.5	94.5
<i>Quercus meavei</i>						
Q. meavei 1	20-09-2022	343	21-09-2022	36	10.5	89.5
Q. meavei 2	20-09-2022	141	21-09-2022	12	8.5	91.5
Q. meavei 3	13-10-2022	41	14-10-2022	2	4.9	95.1

<i>Q. meavei</i> 4	13-10-2022	8	14-10-2022	0	0	100
<i>Q. meavei</i> 5	13-10-2022	97	14-10-2022	0	0	100
<i>Q. meavei</i> 6	13-10-2022	48	14-10-2022	0	0	100
<i>Q. meavei</i> 7	13-10-2022	213	14-10-2022	2	0.9	99.1

De cada árbol se midieron: el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura para contribuir a la caracterización de las especies (Tabla 2). Se registraron las coordenadas de localización de cada individuo, las cuales se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características de los árboles madre de los que se colectaron semillas de *Quercus delgadoana* y *Quercus meavei* en las localidades de Totoyac y Tetlaxca, Veracruz, México. DAP = Diámetro a la altura del pecho.

Especie	No. individuo/árbol madre	Localidad	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)	DAP (cm)	Altura (m)
<i>Q. delgadoana</i>	1	Totoyac	N19°42'34.5" W96°46'32.8"	1882	57.9	15
	2	Totoyac	N19°42'34.7" W96°46'32.7"	1874	46.1	16
<i>Q. meavei</i>	1	Totoyac	N19°42'34.7" W96°46'32.7"	1868	46.7	18
	2	Totoyac	N19°42'39.7" W96°46'27.3"	1908	45.5	8
	3	Tetlaxca	N19° 31' 18.6" W96° 56' 21.8"	1415	96.5	23
	4	Tetlaxca	N19° 21' 14.7" W97° 03' 46.6"	1433	59.8	18
	5	Tetlaxca	N19° 21' 17.5" W97° 03' 47.7"	1430	40	15
	6	Tetlaxca	N19° 21' 17.5" W97° 03' 47.4"	1514	37	16
	7	Tetlaxca	N19° 21' 17.7" W97° 03' 47.7"	1518	83.2	20



**Fig. 3.** Mapa con la ubicación de los sitios de colecta de las semillas de *Quercus delgadoana* y *Quercus meavei*. Ubicación del invernadero en el área natural protegida “Francisco Javier Clavijero” en donde se realizó el estudio de germinación, en el centro de Veracruz, México.

Las semillas se colectaron directamente del suelo y se transportaron 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.).

Del total de las semillas colectadas, se seleccionó aleatoriamente un sub-grupo de 20 semillas por individuo para la toma medidas, con respecto a la segunda colecta, debido a la disponibilidad de semillas por árbol madre, solamente se tomaron medidas de dos individuos de los cinco disponibles (QM3 y QM5). De cada una de las semillas se midió el largo y ancho con un vernier y se registró el peso fresco con una balanza analítica. Posteriormente se tomaron 8 semillas aleatoriamente por cada individuo y se mantuvieron dentro de un horno durante un periodo de 96 horas a una temperatura de 70° C hasta perder

toda la humedad como sugiere García-Morales (2021), y al concluir este periodo se registró el peso seco con la misma balanza analítica (Tabla 3).

**Tabla 3.** Tamaño, peso, contenido de humedad y germinación total (promedio  $\pm$  1 E.E; entre paréntesis valor mínimo y máximo registrados) de las bellotas de las especies estudiadas por árbol madre.

Árboles madre	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
<b>Q. delgadoana 1</b>	19.36 $\pm$ 0.19 (18.07-20.69)	12.61 $\pm$ 0.15 (11.24-14.07)	2.04 $\pm$ 0.05 (1.62-2.53)	1.10 $\pm$ 0.04 (0.93-1.3)	46.07
<b>Q. delgadoana 2</b>	15.01 $\pm$ 0.27 (12.84-16.84)	12.78 $\pm$ 0.20 (11.16-14.11)	1.61 $\pm$ 0.07 (1.09- 2.17)	0.92 $\pm$ 0.07 (0.7- 1.32)	42.85
<b>Q. meavei 1</b>	19.15 $\pm$ 0.26 (16.55-21.28)	17.39 $\pm$ 0.19 (16-18.8)	3.53 $\pm$ 0.13 (2.45-4.8)	1.12 $\pm$ 0.12 (0.66-1.51)	68.27
<b>Q. meavei 2</b>	23.08 $\pm$ 0.32 (20.31-26.36)	17.64 $\pm$ 0.25 (16.1-19.55)	4.31 $\pm$ 0.17 (2.96- 5.8)	1.59 $\pm$ 0.16 (1.07- 2.47)	63.10
<b>Q. meavei 3</b>	18.29 $\pm$ 0.33 (15.2-20.06)	18.65 $\pm$ 0.29 (16.36-21.45)	4.19 $\pm$ 0.23 (2.23-5.88)	2.42 $\pm$ 0.37 (1.15-4.21)	42.24
<b>Q. meavei 5</b>	22.32 $\pm$ 0.37 (19.4-25.53)	20.28 $\pm$ 0.37 (17.34-22.42)	6.17 $\pm$ 0.31 (3.9-8.2)	3.51 $\pm$ 0.33 (2.14-2.52)	43.11

Se utilizó una técnica de flotabilidad (inmersión en agua) para descartar las semillas inviábiles (Gribki y Jones, 1995). Se consideraron dos grupos dentro del experimento, el primer grupo fue expuesto al tratamiento de acondicionamiento natural (AN) y el segundo fue el control (C). El AN consistió en el enterramiento de las semillas en suelo forestal durante 15 días o durante el tiempo de germinación por especie, el cual no estaba reportado para estas especies, pero se determinó cuando la primera semilla de cada especie comenzó a germinar (surgimiento de la radícula). Para tomar en cuenta la heterogeneidad que se puede presentar en el suelo forestal se seleccionaron 10 sitios, separados por aproximadamente 10 metros, los cuales fueron considerados como áreas bosque conservado dentro del Santuario de Bosque de Niebla del Instituto de Ecología A.C., en el estado de Veracruz. Las semillas viables fueron colocadas dentro de 40 bolsas hechas con malla de nylon de 15  $\times$  16 cm, (Tabla 1); con respecto a *Q. delgadoana* se colocaron 100

semillas de QD1 en 10 bolsas y 100 semillas de QD2 en otras 10 bolsas; Con respecto a *Q. meavei* se colocaron 100 semillas de QM1 en 10 bolsas y 100 semillas de QM2 en 10 bolsas más (Fig. 4). Las bolsas fueron distribuidas en los sitios de forma aleatoria. Posteriormente se repitió el tratamiento para la segunda colecta de *Q. meavei* (QM3, QM4, QM5, QM6, QM7). Debido a que se pudo colectar un número distinto de semillas de cada árbol madre se tuvieron que colocar números distintos de semillas en cada bolsa para aprovechar el máximo número de semillas (Fig. 4), las cuales se dividieron en 10 bolsas que fueron distribuidas en los mismos sitios como se describió anteriormente.

Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3		Sitio 4	
QD 1: Bolsa 4	QD2: Bolsa 9	QD 1: Bolsa 1	QD2: Bolsa 5	QD1: Bolsa 2	QD2: Bolsa 8	QD1: Bolsa 5	QD2: Bolsa 1
QM 1: Bolsa 4	QM2: Bolsa 10	QM 1: Bolsa 3	QM2: Bolsa 7	QM1: Bolsa 8	QM2: Bolsa 8	QM 1: Bolsa 6	QM2: Bolsa 9
Sitio 5		Sitio 6		Sitio 7		Sitio 8	
QD 1: Bolsa 10	QD2: Bolsa 4	QD 1: Bolsa 8	QD2: Bolsa 10	QD1: Bolsa 9	QD2: Bolsa 6	QD1: Bolsa 7	QD2: Bolsa 3
QM 1: Bolsa 7	QM2: Bolsa 5	QM 1: Bolsa 1	QM2: Bolsa 3	QM 1: Bolsa 2	QM2: Bolsa 6	QM 1: Bolsa 9	QM2: Bolsa 1
Sitio 9		Sitio 10					
QD 1: Bolsa 6	QD2: Bolsa 2	QD 1: Bolsa 3	QD2: Bolsa 7				
QM 1: Bolsa 5	QM2: Bolsa 2	QM 1: Bolsa 10	QM2: Bolsa 4				

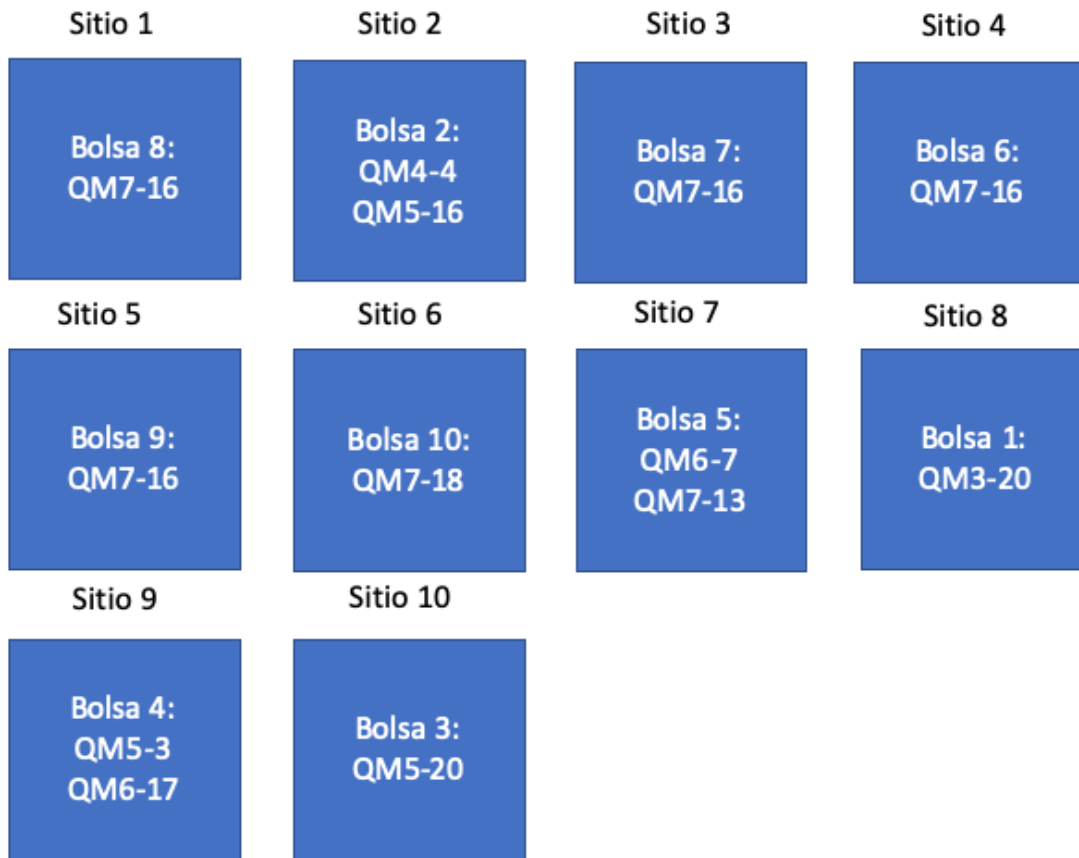


Fig. 4. Diagrama que muestra la distribución aleatoria de las bolsas con las semillas en los sitios para la aplicación del acondicionamiento a las semillas de la primera colecta (arriba) y la segunda colecta (abajo) dentro del Santuario de Niebla.

Las bolsas fueron enterradas a 5 cm de profundidad tomando como referencia lo sugerido por Becerra-Vázquez et al. (2020) (Fig. 5). Las semillas fueron monitoreadas cada tercer día durante 15 días para determinar el tiempo de germinación por especie, debido a que no se pudo encontrar esta información reportada en la literatura, la ocurrencia de la germinación se consideró tomando como referencia la aparición de la radícula. Todas las semillas fueron extraídas del tratamiento en el momento en el que se presentaron las primeras semillas germinadas o bien cumplidos los quince días determinados. Si bien solo existe un reporte sobre *Q. nixoniana* en el bosque de niebla de Jalisco que respondió positivamente al enterramiento por 30 días, se determinó un periodo máximo de enterramiento de 15 días en nuestra región de estudio con el objetivo de mitigar el riesgo de pudrición, esto debido a que los bosques de niebla de la región de Veracruz mantienen

una alta humedad a lo largo de todo el año, a diferencia de los bosques de Jalisco, donde se llevó a cabo el estudio de Garcias-Morales et al. (2021).

Para el segundo grupo de semillas designado como control (C), las semillas se transportaron en las mismas condiciones que las del grupo de AN, y se mantuvieron en un refrigerador (a 4°C) simultáneamente con el tratamiento de AN, las semillas de *Q. delgadoana* se mantuvieron 3 días, mientras que las semillas de *Q. meavei* permanecieron en el refrigerador 15 días. El día en el que las primeras semillas expuestas a AN de cada especie germinaron, ambos grupos (AN y C) fueron colocados en bandejas para germinación en el invernadero del área natural protegida "Francisco Javier Clavijero" (Fig. 6). Las semillas de los dos grupos se sembraron simultáneamente en bandejas de germinación con una mezcla de sustrato con contenido de tierra negra y tepezil (3:1) y fueron mantenidas dentro del invernadero con malla sombra (30%), con riego cada tercer día durante todo el tiempo de registro de datos (60 días para las semillas de Totoyac y 120 días para las semillas de Tetlaxca).

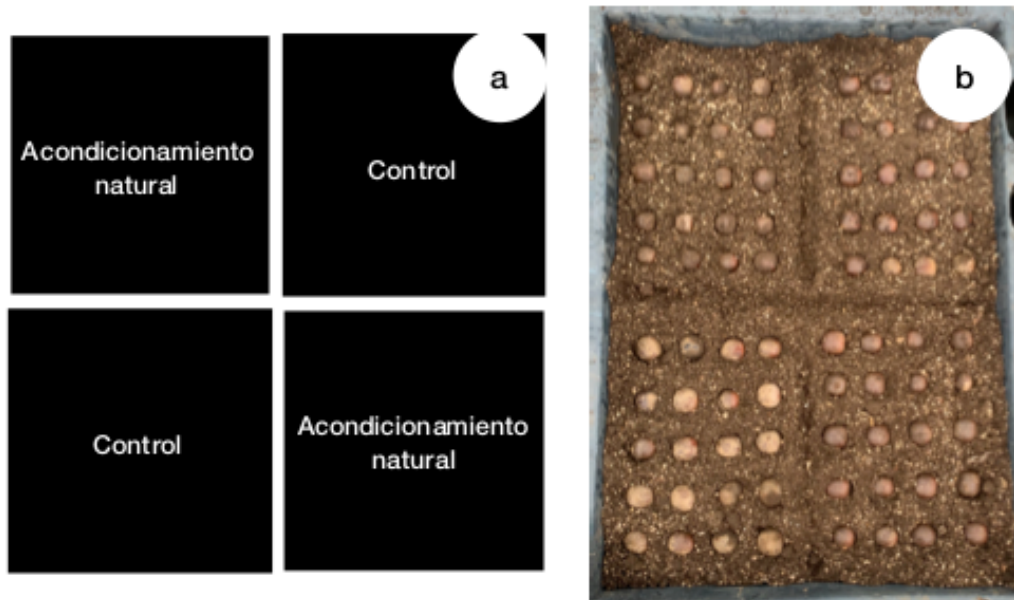


**Fig. 5.** Fotografías del tratamiento de acondicionamiento natural en donde se muestran las bolsas de malla de nylon con semillas de *Quercus delgadoana* y *Quercus meavei* colocadas en el suelo forestal dentro del Santuario del Bosque de Niebla en el área natural protegida Francisco Javier Clavijero, Xalapa, Veracruz.



**Fig. 6.** Fotografías de las semillas dispuestas en bandejas de germinación en el invernadero en el área natural protegida “Francisco Javier Clavijero”, Xalapa, Veracruz.

De la primera colecta se sembraron en total 200 semillas de *Q. delgadoana* que previamente fueron sometidas a AN y 200 del grupo control, de *Q. meavei* se sembraron 200 semillas que fueron sometidas a AN y 157 semillas del grupo control, distribuidas en 10 bandejas. De la segunda colecta se sembraron 182 semillas que fueron sometidas a AN y 181 semillas del grupo control, distribuidas en 5 bandejas. Las bandejas se subdividieron en cuatro cuadrantes, de cada una, se asignaron 2 cuadrantes por bandeja al tratamiento y 2 cuadrantes al control (Fig. 7).



**Fig. 7.** Descripción general de la figura. (a) Diagrama de las subdivisiones en cuadrantes de las bandejas en donde se sembraron las semillas dentro del invernadero en el área natural protegida “Francisco Javier Clavijero”, (b) charola sembrada con semillas de *Quercus meavei* en charolas.

Durante la toma de datos se registraron datos de germinación (surgimiento de la radícula), y datos de emergencia (aparición de la plúmula visible con aprox. 2 mm de longitud). Los registros se llevaron a cabo desde la siembra de las semillas cada tercer día hasta el momento en que, durante 5 registros consecutivos, no se observaron diferencias significativas en términos de germinación y emergencia. Después de esto los registros se tomaron cada semana hasta que la mayoría de las plántulas (>80%) alcanzaron 5 cm de altura.

## **Análisis de datos**

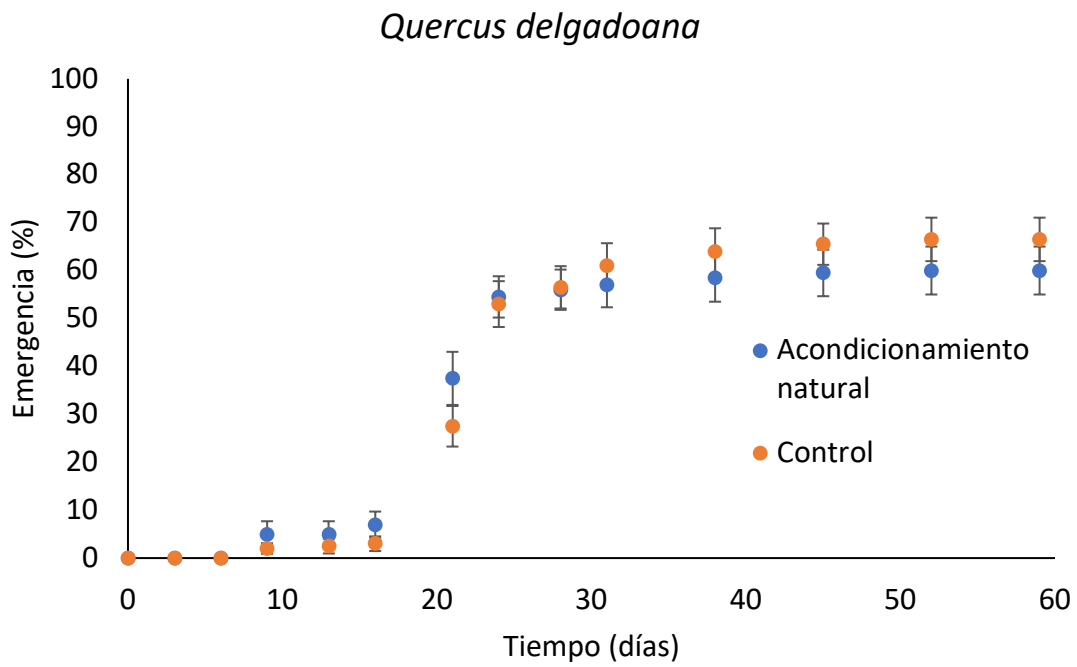
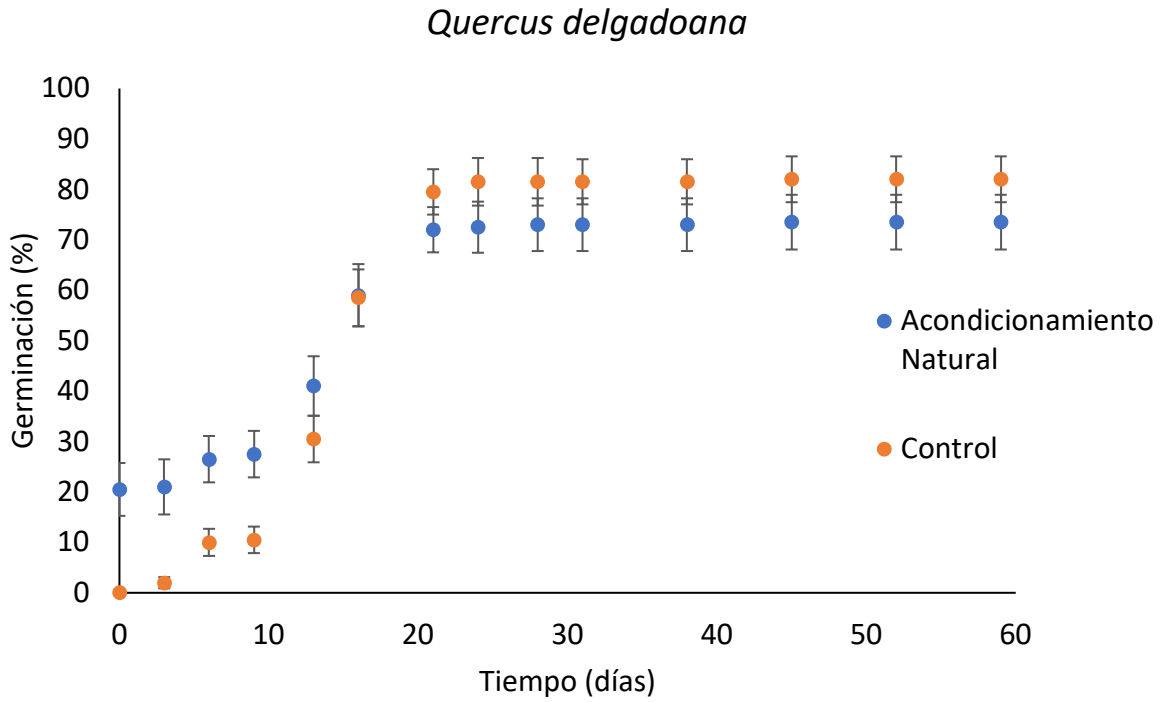
Para determinar el efecto del Acondicionamiento Natural (AN) sobre la germinación y emergencia de las dos especies, se calculó el porcentaje total de germinación (total de semillas germinadas en relación con el total de las semillas) y de emergencia, así como el t50 que es el tiempo necesario para que germine 50% del total de las semillas. Se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM por sus siglas en inglés, con la familia binomial) para comparar las diferencias del porcentaje de germinación total entre el tratamiento (AN) y el grupo control (C) para cada especie por separado.

Se utilizó un modelo lineal generalizado para comparar el t50 entre los tratamientos de AN y C de *Q. delgadoana* (Totoyac). En el caso de *Q. meavei*, individuos 1 y 2, no se pudo realizar este análisis debido a que las semillas no alcanzaron una germinación mayor al 25%, para los individuos 3, 4, 5, 6 y 7 de *Q. meavei* se reportaron los datos de t20 ya que el porcentaje de germinación fue menor a 50% en algunas bandejas. También se utilizó un modelo lineal generalizado para comparar el t20 entre los tratamientos de AN y C de *Q. meavei* (Tetlaxca).

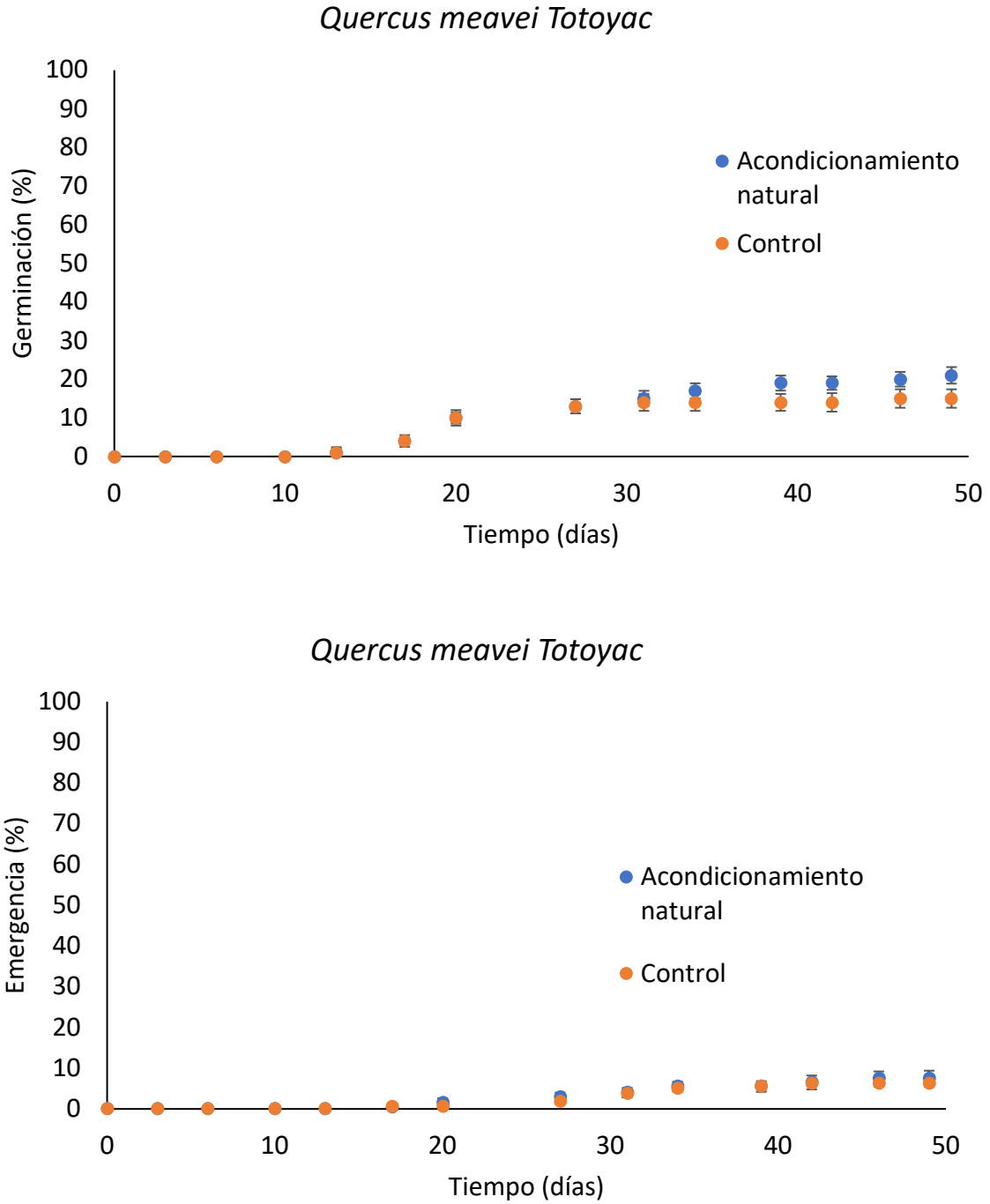
## Resultados

El tamaño, peso fresco y seco y el contenido de humedad de las semillas colectadas se muestran en la Tabla 3. En general el contenido de humedad fue menor en *Q. delgadoana* (1 y 2) y *Q. meavei* (3 y 5), en comparación con *Q. meavei* (1 y 2) que presentó un mayor contenido de humedad.

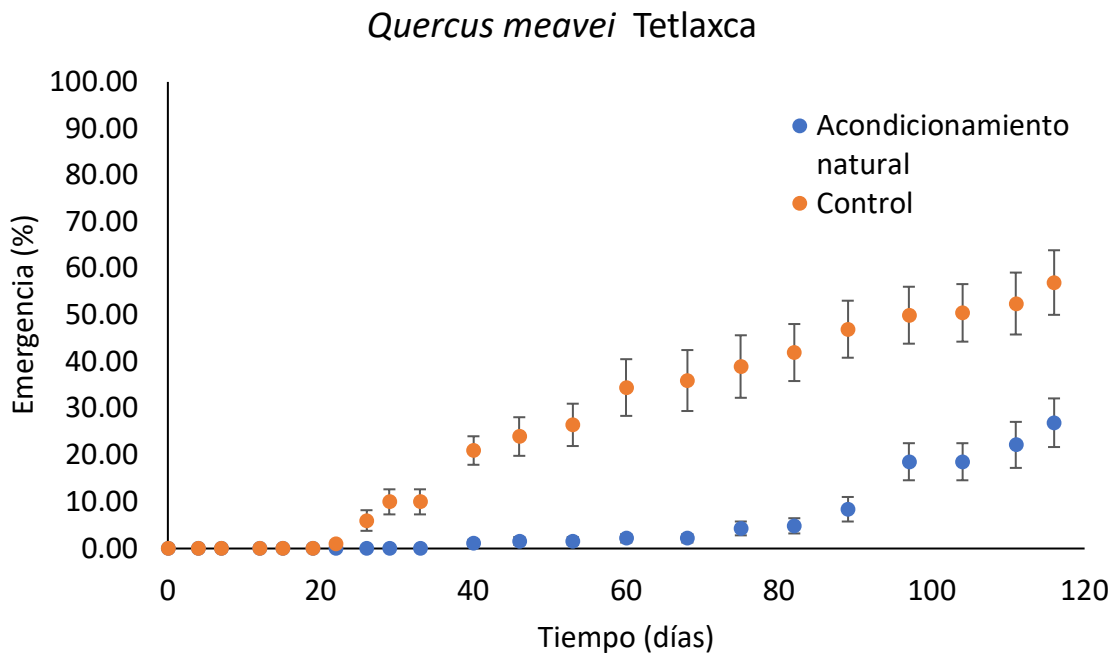
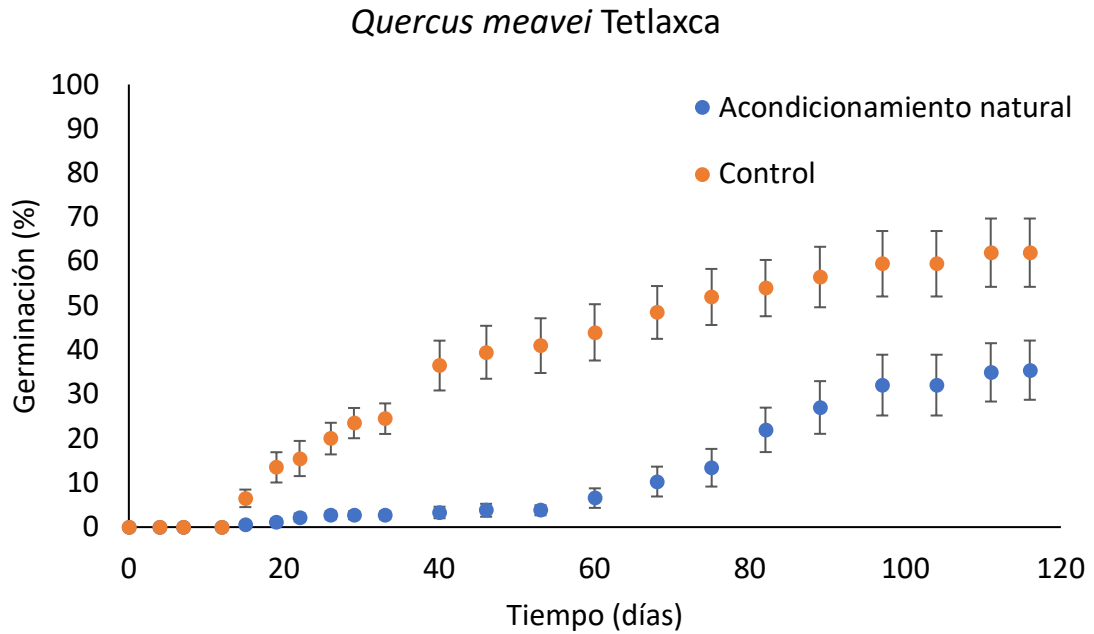
En el caso de *Q. delgadoana* se registraron las primeras semillas germinadas a los 3 días en el tratamiento de AN y a los 6 días en el C (Figura 8). A los 24 días ya no se registraron nuevas semillas germinadas (Fig. 8). Las bellotas de *Q. meavei* tardaron más tiempo en comenzar a germinar, la germinación de las semillas no sucedió durante el tratamiento de AN, ni en refrigeración en el grupo control, sino hasta la siembra en el vivero; de los individuos de *Q. meavei* de Totoyac, se registraron las primeras semillas germinadas de AN y C a los 13 días a partir de la siembra en el vivero (Fig. 9), y se dejaron de registrar nuevas semillas germinadas a los 50 días. De los individuos de *Q. meavei* de Tetlaxca, las bellotas tanto de AN como en el C comenzaron a germinar a los 15 días después de la siembra en el vivero (Fig. 10), y las semillas dejaron de germinar a los 120 días.



**Fig. 8.** Porcentaje de germinación de semillas (arriba) y emergencia de plántulas (abajo) acumulada (promedio  $\pm$  E.E.) de *Quercus delgadoana* sometidas a acondicionamiento natural y en el control.



**Fig. 9.** Porcentaje de germinación (arriba) y emergencia (abajo) acumulada (promedio  $\pm$  E.E.) a lo largo del tiempo de las semillas de *Quercus meavei* sometidas a acondicionamiento natural y en el control.



**Fig. 10.** Porcentaje de germinación de semillas (arriba) y emergencia de plúmula (abajo) acumuladas (promedio  $\pm$  E.E.) a lo largo del tiempo de las semillas de *Quercus meavei* sometidas a acondicionamiento natural y en el control.

Al realizar el GLM para analizar la diferencia en t50 (tiempo en que las semillas alcanzaron el 50% de germinación del total de la población) entre los tratamientos de acondicionamiento natural y el control para *Q. delgadoana*, se encontró que no existieron diferencias significativas ( $P = 0.68$ ); las semillas de AN presentaron un promedio de 14.8 días para alcanzar el 50% de semillas germinadas y el grupo C tardó 15.6 días en alcanzar el mismo porcentaje.

Para las semillas de *Q. meavei* de Totoyac, no se alcanzó un porcentaje de germinación mayor al 25%, por lo que se descartó este análisis. Para *Q. meavei*, individuos de la localidad de Tetlaxca, se realizó el análisis considerando el t20 (tiempo en que las semillas alcanzaron el 20% de germinación del total de la población), ya que las semillas sometidas al acondicionamiento natural presentaron un porcentaje bajo de germinación (<50% en algunas bandejas). El GLM mostró diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) entre tratamientos; el promedio de las semillas sometidas con AN fue de 77.1 días para alcanzar el 20% de germinación mientras que para el C las semillas alcanzaron este porcentaje en sólo 24.6 días. La emergencia de la plúmula en *Q. meavei* (Totoyac), se registró a los 17 días de la siembra en el vivero tanto en AN como en el C, los últimos datos de emergencia se registraron a los 42 días. Para *Q. meavei* (Tetlaxca), se registraron las primeras semillas emergidas del C a los 22 días desde el momento de siembra y a los 40 días en las semillas de AN, los últimos registros de emergencia fueron a los 100 días.

En la gráfica de germinación (Fig. 8) de *Q. delgadoana* se observa que, aunque el acondicionamiento natural (AN) aceleró el inicio de la germinación, las semillas de AN y C alcanzan porcentajes similares a los 16 días del momento de siembra. De acuerdo con el GLM aplicado, hubo una diferencia significativa entre los tratamientos de germinación de *Q. delgadoana*; el AN natural tuvo un porcentaje de germinación total más bajo que el control (Tabla 3;  $P = 0.041$ ). Sin embargo, la magnitud de la diferencia es pequeña. Tanto en AN como en el C, la emergencia de la plúmula en *Q. delgadoana* se registró a los 9 días desde que las semillas se sembraron en el vivero, al pasar 52 días se registraron las últimas en emerger (Fig. 8). En la gráfica de *Q. delgadoana* (Fig. 8) se muestra una emergencia total similar para el AN y el C. El GLM mostró que no hay una diferencia significativa en la emergencia total entre los grupos ( $\chi^2 = 1.81$ ,  $gl = 18$ ,  $P = 0.177$ ).

**Tabla 3.** Germinación y emergencia totales (promedio  $\pm$  1 E.E.) por especie bajo acondicionamiento natural (AN) y en el control (C). Letras distintas dentro de la misma especie denotan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos.

	Germinación total (%) AN	Germinación total (%) C	Emergencia total (%) AN	Emergencia total (%) C
<i>Q. delgadoana</i> - Totoyac	73.5 $\pm$ 5.43 <b>a</b>	82.0 $\pm$ 4.55 <b>b</b>	60.0 $\pm$ 5.0 <b>A</b>	66.5 $\pm$ 4.54 <b>A</b>
<i>Q. meavei</i> - Totoyac	23.0 $\pm$ 2.14 <b>a</b>	15.0 $\pm$ 2.80 <b>a</b>	7.5 $\pm$ 1.89 <b>A</b>	6.2 $\pm$ 0.73 <b>A</b>
<i>Q. meavei</i> - Tetlaxca	35.4 $\pm$ 6.69 <b>a</b>	62.0 $\pm$ 7.72 <b>b</b>	26.9 $\pm$ 5.21 <b>A</b>	57.0 $\pm$ 6.92 <b>B</b>

Debido al número reducido de semillas que lograron germinar de la especie *Q. meavei* de la localidad de Totoyac se separaron los análisis de datos con respecto a la segunda colecta. La gráfica de germinación de Totoyac (individuos 1 y 2) (Fig. 9) muestran que tanto el AN como el C tuvieron un bajo porcentaje de germinación total. El GLM mostró que no hubo un efecto significativo entre tratamientos ( $P = 0.23$ ; Tabla 3). Las semillas de *Q. meavei* de Tetlaxca (individuos 3, 4, 5, 6 y 7), presentan diferencias en la germinación total entre el AN y el C (Fig. 10), contrario a lo esperado, el grupo C presentó valores casi dos veces más altos que AN (Tabla 3;  $z = 6.723$ ,  $P < 0.0001$ ). Para *Q. meavei* de la localidad de Totoyac, los porcentajes de emergencia fueron muy bajos para ambos grupos (AN y C) (Fig. 9). De acuerdo con el GLM, no se muestran diferencias significativas en la emergencia total entre AN y C ( $P = 0.131$ ). En el caso de *Q. meavei* de la localidad de Tetlaxca, el GLM mostró mayor emergencia en el C que en AN ( $P < 0.0001$ ).

## Discusión

Para el género *Quercus* se ha reportado una gran variación en la germinación entre las distintas especies. Los valores de germinación total encontrados para *Q. delgadoana* (82%) y *Q. meavei* (62%) en condiciones controladas fueron altos y se encuentran dentro del rango reportado para otras especies de encinos del bosque de niebla. Este éxito podría atribuirse a características específicas de este estudio, aunque es importante señalar que las diferencias observadas en los porcentajes de germinación entre las distintas especies pueden ser el resultado de múltiples factores.

Por ejemplo, García-Hernández et al. (2016), en un estudio sobre la remoción y predación de bellotas, así como sus efectos en la dinámica forestal, reportaron un alto porcentaje de germinación para *Q. germana* (91.67%), mientras que *Q. sartorii* y *Q. cortesii* mostraron valores de 50% y 13.3%, respectivamente. Por otro lado, García-Hernández & López-Barrera (2023) reportaron un porcentaje de germinación del 56.5% para *Q. insignis* en un estudio enfocado en la predación de semillas y su impacto en la regeneración. En un estudio acerca de la germinación y emergencia de especies en peligro tanto en un fragmento de bosque secundario como en un invernadero, García-de la Cruz et al. (2016) reportaron los siguientes valores de germinación: 71.8% para *Q. sartorii*, 66.4% para *Q. germana*, 60.8% para *Q. insignis* y 53.5% para *Q. xalapensis*. En contraste Toledo-Aceves (2017) reportó un bajo porcentaje de germinación de 18.1% para *Q. germana*.

Las diferencias en los resultados pueden atribuirse a la variación en los tratamientos de germinación, las condiciones ambientales específicas, y las características inherentes a cada especie. Al considerar estas variaciones, se puede obtener una perspectiva más completa al interpretar y comparar los datos de germinación obtenidos en este estudio en comparación con los estudios previamente mencionados.

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 (inicio del periodo de fructificación), la variación entre arboles madre y la procedencia (sitios de colecta). Con respecto a la recolección de las semillas, observamos que en el caso de *Q. meavei* las semillas que fueron colectadas primero, cuando apenas empezaban a caer, presentaron menor germinación en

comparación con las semillas colectadas 23 días después. En el caso de *Q. pinnativenulosa* Rodríguez-Zambrano (com. pers.) también observó que las semillas que fueron colectadas al inicio del periodo de producción germinaron mucho menos que las semillas que cayeron 15 días después. Center et al. (2016) encontraron para *Q. oleoides* en Costa Rica que las bellotas producidas más tarde durante el periodo de lluvias tuvieron una menor mortalidad (62%) en comparación con las producidas al inicio del periodo (92%), lo cual puede deberse a que fueron dispersadas al final de la estación húmeda, cuando las lluvias son menos frecuentes y es probable que los suelos estén menos saturados. González-Rodríguez et al. (2012) encontraron que la variación entre árboles madre en las poblaciones tiene un efecto en la diversidad y calidad de las semillas, y que esta variabilidad dentro de las poblaciones puede afectar la germinación y el establecimiento de plántulas. Sin embargo, 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 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 19°C y se encuentra a una altitud de 1,900 m.s.n.m. (SECTUR, 2023), en contraste con la localidad de Tetlaxca, que presenta un clima templado, con una altitud de 1,441 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 22.5°C (SECTUR, 2023). El sitio de propagación, en el municipio Xalapa de Enríquez, tiene un clima semicálido húmedo y se encuentra a 1,417 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.

El contenido de humedad es particularmente importante para la germinación en los encinos, ya que la viabilidad de sus semillas puede disminuir significativamente si se produce una pérdida considerable de humedad entre la recolección y la siembra. Esto puede tener un efecto negativo especialmente en semillas recalcitrantes o sensibles a la desecación, cuando caen al suelo el contenido de humedad se reduce con el paso del tiempo y

disminuye su capacidad de germinación (Carpenter y Ostmark 1994; Vázquez et al. 1999; Rodríguez et al., 2000). En un estudio realizado en los estados de Hidalgo, Querétaro y el Estado de México sobre el contenido de humedad (CH) en bellotas de nueve especies de encinos, en el que las semillas estuvieron sometidas a pérdida de humedad se encontró que el contenido de humedad está positivamente relacionado con la tasa de germinación (Zavala-Chávez, 2004). En el presente estudio se realizó un monitoreo de producción de semillas de los individuos 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. Sin embargo, al registrar la germinación de las semillas de *Quercus meavei* de Totoyac, se observó lo contrario, a pesar de presentar valores de contenido de humedad más altos que las de Tetlaxca y de ser sembradas rápidamente después de su recolección, las semillas de *Quercus meavei* de Totoyac mostraron una tasa de germinación más baja contrario a lo esperado. No obstante, no se realizó un análisis de esto; por lo que se recomienda para futuros estudios llevar a cabo un análisis comparativo del porcentaje de viabilidad entre especies considerando un mayor número de individuos por especie. El contenido de humedad puede variar ampliamente entre especies (37%-74%) (Zavala-Chávez, 2004).

Aunado a la prueba de flotabilidad para comprobar la viabilidad de las semillas, se recomienda realizar una prueba de viabilidad sumergiendo las semillas en una solución de tetrazolio como es sugerido por Garcías-Morales et al. (2021) para cuantificar la capacidad potencial de germinación de las semillas previa a la siembra. González-Rodríguez et al. (2012).

Las semillas de *Q. delgadoana* germinaron al quinto día de haber sido colectadas y a los 20 días alcanzaron la germinación máxima (82%), lo que indica que las semillas de esta especie cuentan con el potencial para ser propagadas exitosamente bajo condiciones controladas. En el caso de *Q. meavei* las semillas comenzaron a germinar a los 13 días y presentaron una velocidad de germinación mucho menor, a los 111 días se registraron nuevas semillas germinadas. Como referencia, Orozco-Segovia et al. (2006) reportan para *Q. deserticola* un valor de germinación del 50% a los 40 días de la colecta sin ningún tratamiento aplicado y consideran que no requiere de tratamientos previos a la germinación. En general podemos considerar que los valores encontrados de germinación y emergencia

indican el alto potencial que presentan ambas especies estudiadas para ser propagadas a partir de semilla en vivero.

Contrariamente a la hipótesis, el acondicionamiento natural no tuvo efecto positivo sobre la tasa de germinación, ni en la germinación total y 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). La Sierra de Manantlán, el área de estudio en donde se realizó el estudio con *Q. nixoniana*, presenta similares condiciones climáticas al bosque de niebla del presente estudio, aunque con una temporada de secas más marcada. El periodo de enterramiento resulta importante ya que al estar expuestas a una humedad constante tienen un mayor riesgo de pudrición, especialmente en ecosistemas con elevada humedad como el bosque de niebla. En un estudio reciente se encontró 50% de pérdida de semillas de *Q. pinnativenulosa* por pudrición cuando se sembraron directamente en el suelo forestal en el mismo sitio de estudio de este trabajo (Rodríguez-Zambrano 2023).

Una estrategia comúnmente utilizada para el almacenamiento de semillas con fines de propagación es la refrigeración. En este estudio un subgrupo de bellotas (control) permaneció almacenado durante el periodo en el cual el segundo subgrupo fue expuesto al acondicionamiento natural. Sin embargo, se observó que esta exposición a una baja temperatura (4°C) resultó beneficiosa para la germinación y emergencia total de ambas especies. La refrigeración se ha propuesto como un tratamiento pregerminativo, también conocido como estratificación por frío, debido a que la exposición a bajas temperaturas ha demostrado tener un efecto positivo en la germinación de las semillas. Por ejemplo, la estratificación por frío ha aumentado significativamente la germinación en especies como *Q. robur*, *Q. rubra* y *Q. pagoda* (Özbingöl y O'Reilly, 2005; Noland et al., 2013; Hawkins, 2019; Jastrzębowski et al., 2021)

## **Conclusiones**

El presente estudio se centró en investigar la germinación de semillas y emergencia de plántulas de *Quercus delgadoana* y *Quercus meavei*, dos especies amenazadas restringidas al bosque mesófilo de montaña en México. Aunque se han propuesto tratamientos pregerminativos, como 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 germinación total de *Q. delgadoana* y *Q. meavei*. Contrario a lo esperado, las semillas pertenecientes al grupo control presentaron un mayor éxito en la germinación y emergencia, por lo que la refrigeración (estratificación por frío) de las semillas parece ser una herramienta útil para promover la germinación de estas especies. Por lo tanto, 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 limitada información para los encinos. Aunque el acondicionamiento natural no demostró ser beneficioso en términos de germinación total en estas especies, estos hallazgos son relevantes para orientar futuras investigaciones y esfuerzos de conservación, destacando la necesidad de explorar otras estrategias como por ejemplo el tratamiento de estratificación por frío para mejorar la regeneración exitosa de estas y otras especies clave en los bosques de niebla.

Los valores de germinación encontrados para las especies estudiadas indican un alto potencial para ser propagadas a partir de semilla. Estos resultados destacan la importancia de considerar las características específicas de cada especie y los factores ambientales involucrados en su germinación y establecimiento. Si bien el acondicionamiento natural ha mostrado beneficios en otras especies con semillas recalcitrantes y en diferentes ecosistemas, se recomiendan futuros estudios sobre la germinación de especies de encinos del bosque de niebla de diferentes procedencias y con un mayor número de individuos madre, especialmente para *Q. delgadoana*, para contribuir al fortalecimiento de su propagación con fines de conservación y restauración.

## **Agradecimientos**

Este estudio formó parte del proyecto “Safeguarding Threatened Tropical Montane Cloud Forest Oaks in Mesoamerica” financiado por la Fundación Franklinia y The Morton Arboretum y por el INECOL (no. 20030-11218). Quisiera expresar mi agradecimiento al INECOL A.C. por brindarme todas las facilidades necesarias para realizar el estudio, así como a la Secretaría del Medio Ambiente de Veracruz por permitirnos utilizar sus instalaciones. En primer lugar deseo agradecer de manera especial a mi directora, la Dra. Tarín Toledo Aceves por su invaluable ayuda y orientación durante todo el proyecto, su mentoría fue fundamental en la elaboración y desarrollo de este trabajo. También me gustaría reconocer el valioso aporte de Claudia Gallardo Hernández, quien gracias a su gran conocimiento en el estudio de estos majestuosos árboles, me guió en la identificación de los árboles y en las exploraciones realizadas para encontrar las poblaciones de las especies. Agradezco sinceramente a mis compañeros, Uriel Rodríguez, por su apoyo para la realización del experimento, y a Siunelly Landero por su valiosa ayuda en la colecta y el cuidado de las semillas. Un agradecimiento especial a Luis Quijano Cuervo, por su ayuda en la realización de los análisis estadísticos. Asimismo, deseo expresar mi gratitud a Carlos Iglesias Delfín y Carlos Aldair Zarate Pérez por su guía y asesoramiento en el cuidado de los árboles. Agradezco también a Jorge Cordova Nieto por la elaboración del mapa de localización de los sitios de colecta de las semillas. Por último me gustaría ofrecer un especial agradecimiento a María Teresa Malpica Rojas, por su apoyo siempre. Sus contribuciones y apoyo incondicional han sido fundamentales para el éxito de este estudio.

## Referencias

- Alvarado-López S, Gómez-Maqueo X, Soriano D et al (2018) Mobilization and synthesis of seed storage and LEA proteins during natural priming of *Buddleja cordata* and *Opuntia tomentosa*. *Bot Sci* 96:76–83. <https://doi.org/10.17129/botsci.1499>
- Argüelles-Marrón, B., Meave, J. A., Luna-Vega, I., Crispin-DelaCruz, D. B., Szejner, P., Ames-Martínez, F. N., y Rodríguez-Ramírez, E. C. (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. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14362>
- Badano, E. I., y Sánchez-Montes de Oca, E. J. (2022). Seed fate, seedling establishment and the role of propagule size in forest regeneration under climate change conditions. *Forest Ecology and Management*, 503. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119776>
- Becerra-Vázquez, Á. G., Coates, R., Sánchez-Nieto, S., Reyes-Chilpa, R., y Orozco-Segovia, A. (2020). Effects of seed priming on germination and seedling growth of desiccation-sensitive seeds from Mexican tropical rainforest. *Journal of Plant Research*, 133(6), 855–872. <https://doi.org/10.1007/s10265-020-01220-0>
- Benítez-Rodríguez, L., Gamboa-deBuen, A., Sánchez-Coronado, M. E., Alvarado-López, S., Soriano, D., Méndez, I., Vázquez-Santana, S., Carabias-Lillo, J., Mendoza, A., y Orozco-Segovia, A. (2014). Effects of seed burial on germination, protein mobilisation and seedling survival in *Dodonaea viscosa*. *Plant Biology*, 16(4), 732–739. <https://doi.org/10.1111/plb.12110>
- Caliskan, S. (2014). Germination and seedling growth of holm oak (*Quercus ilex* L.): Effects of provenance, temperature, and radicle pruning. *IForest*, 7(2), 103–109. <https://doi.org/10.3832/ifor0967-007>
- Camacho-Cruz, A., González-Espinosa, M., Wolf, J. H. D., y De Jong, B. H. (2000). Germination and survival of tree species in disturbed forests of the highlands of Chiapas, Mexico. *Canadian Journal of Botany*, 78(10), 1309–1318. <https://doi.org/10.1139/b00-103>
- Carrero, C., Jerome, D., Beckman, E., Byrne, A., Coombes, A. J., Deng, M., González Rodríguez, A., Van Sam, H., Khoo, E., Nguyen, N., Robiansyah, I., Rodríguez Correa, H., Sang, J., Song, Y.-G., Strijk, J., Sugau, J., Sun, W., Valencia-Ávalos, S., y Westwood, M. (2020). *The Red List of Oaks 2020*. [www.seascapedesign.co.uk](http://www.seascapedesign.co.uk)
- Castro-Colina, L., Martínez-Ramos, M., Sánchez-Coronado, M. E., Huante, P., Mendoza, A., y Orozco-Segovia, A. (2012). Effect of hydropriming and acclimation treatments on *Quercus rugosa* acorns and seedlings. *European Journal of Forest Research*, 131(3), 747–756. <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. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/nph.15450>

- Center, A., Etterson, J. R., Deacon, N. J., y Cavender-Bares, J. (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. <https://doi.org/10.3732/ajb.1500389>
- Chambers, J. C., y MacMahon, J. A. (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 and Systematics*, 25(1), 263–292. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.25.110194.001403>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible* (Primera edición).
- Cynthia L. Pérez-Ruiz, Ernesto I. Badano, Juan P. Rodas-Ortiz, Pablo Delgado-Sánchez, Joel Flores, David Douterlungne, Jorge A. Flores-Cano, Climate change in forest ecosystems: A field experiment addressing the effects of raising temperature and reduced rainfall on early life cycle stages of oaks, *Acta Oecologica*, Volume 92, 2018, Pages 35-43, ISSN 1146-609X, <https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.08.006>.
- García-De La Cruz, Y., López-Barrera, F., y Ramos-Prado, J. M. (2016). Germination and seedling emergence of four endangered oak species. *Madera y Bosques*, 22(2), 77–87. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61749306006>
- García-Hernández, M. de los Á., López-Barrera, F., y Perea, R. (2023). Simulated partial predation on the largest-seeded oak: Effects of seed morphology and size on early establishment. *Forest Ecology and Management*, 534, 120863. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120863>
- García-Hernández, M. de los Á., López-Barrera, F., y Vásquez-Reyes, V. M. (2016). Microhabitat affects acorn removal in three sympatric and endangered Neotropical oak species. *Ecological Research*, 31(3), 343–351. <https://doi.org/10.1007/s11284-016-1342-2>
- Garcías-Morales, C., Orozco-Segovia, A., Soriano, D., y Zuloaga-Aguilar, S. (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. <https://doi.org/10.1177/1940082921989196>
- Gómez, J. M., Puerta-Piñero, C., y Schupp, E. W. (2008). Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia*, 155(3), 529–537. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0928-3>
- González-Espinosa, M., Meave, J. A., Lorea-Hernández, F. G., Ibarra-Manríquez, G., y Newton, A. C. (2011). *The red list of Mexican cloud forest trees*. Fauna y Flora International.
- González-Rodríguez, V., Barrio, I. C., y Villar, R. (2012). Within-population variability influences early seedling establishment in four Mediterranean oaks. *Acta Oecologica*, 41, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.04.008>
- González-Zertuche, L., y Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de análisis de datos germinación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 58, 15-30. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1484>

- González-Zertuche, L., Vázquez-Yanes, C., Gamboa, A., Sánchez-Coronado, M. E., Aguilera, P., y Orozco-Segovia, A. (2001). Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research*, 11(01), 27–34. <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. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9667-z>
- Kaliniewicz, Z., y Tylek, P. (2018). Influence of scarification on the germination capacity of acorns harvested from uneven-aged stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Forests*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/f9030100>
- Löf, M., Castro, J., Engman, M., Leverkus, A. B., Madsen, P., Reque, J. A., ... y Gardiner, E. S. (2019). Tamm Review: Direct seeding to restore oak (*Quercus* spp.) forests and woodlands. *Forest Ecology and Management*, 448, 474–489. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.06.032>
- Lorea-Hernández F, Carlos Durán Espinosa, Gallardo Hernández C, Sergio Avendaño Reyes y Luis Tlaxcalteco Tepo. Plantas con semillas. En: Biodiversidad del Santuario del Bosque de Niebla, Xalapa, Veracruz. Samain M.S. y G. Castillo-Campos (eds.). Instituto de Ecología A.C. ISBN: 978-607-7579-97-7.
- Martínez-Pérez, G., Orozco-Segovia, A., y Martorell, C. (2006). Tratamientos pre-germinativos en ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 9–20. <http://redalyc.uaemex.mx>
- Mata-Guel, E. O., Soh, M. C. K., Butler, C. W., Morris, R. J., Razgour, O., y Peh, K. S. -H. (2023). Impacts of anthropogenic climate change on tropical montane forests: an appraisal of the evidence. *Biological Reviews*, 98(4), 1200–1224. <https://doi.org/10.1111/brv.12950>
- Orozco-Segovia, A., y Sánchez-Coronado, M. E. (2009). *Functional diversity in seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology*. En: Functional diversity of plant reproduction, 175–216. ISBN: 978-81-308-0360-9
- Ortiz-Colín, P., Toledo-Aceves, T., López-Barrera, F., y Gerez-Fernández, P. (2017). Can traditional selective logging secure tree regeneration in cloud forest? *IForest*, 10(2), 369–375. <https://doi.org/10.3832/ifor1937-009>
- Palma, Ana & Laurance, Susan. (2015). A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: What do we know and where should we go? *Applied Vegetation Science*. 18. 10.1111/avsc.12173.
- Pelissari, F., José, A. C., Fontes, M. A. L., Matos, A. C. B., Pereira, W. V. S., y Faria, J. M. R. (2018). A probabilistic model for tropical tree seed desiccation tolerance and storage classification. *New Forests*, 49(1), 143–158. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9610-8>
- Peraza-Villarreal, H., Sánchez-Coronado, M. E., Lindig-Cisneros, R., Tinoco-Ojanguren, C., Velázquez-Rosas, N., Cámara-Cabrales, L., y Orozco-Segovia, A. (2018). Seed priming

effects on germination and seedling establishment of useful tropical trees for ecological restoration. *Tropical Conservation Science*, 11. <https://doi.org/10.1177/1940082918817886>

Perea García-Calvo, R., San Miguel Ayanz, A., y Gil Sánchez, L. (2009). Dispersión secundaria de semillas de robles (*Quercus petraea* y *Quercus pyrenaica*) en el Hayedo de Montejo (Madrid). *Sociedad Española de Ciencias Forestales*.

Pulido, F. J., y Díaz, M. (2005). Regeneration of a Mediterranean oak: A whole-cycle approach. *Écoscience*, 12(1), 92–102. <https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-1-92.1>

Rodríguez, M. D. C., Orozco-Segovia, A., Sanchez-Coronado, M. E., y Vazquez-Yanes, C. (2000). Seed germination of six mature neotropical rain forest species in response to dehydration. *Tree Physiology*, 20(10), 693–699. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.10.693>

Rodríguez-Zambrano E.U. (2023). 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.

Soltani, E., Ghaderi-Far, F., Baskin, C. C., y Baskin, J. M. (2015). Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. *Australian Journal of Botany*, 63(8), 631–635. <https://doi.org/10.1071/BT15133>

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. <https://doi.org/10.1080/13416979.2016.1273083>

Toledo-Aceves, T., Bonilla-Moheno, M., Sosa, V. J., López-Barrera, F., y Williams-Linera, G. (2022). Leaf functional traits predict shade tolerant tree performance in cloud forest restoration plantings. *Journal of Applied Ecology*, 59(9), 2274–2286. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14128>

Toledo-Aceves, T., Sáenz-Romero, C., Laura Cruzado-Vargas, A., y Vásquez-Reyes, V. (2023). *Quercus insignis* seedling response to climatic transfer distance in the face of climate change. *Forest Ecology and Management*, 533, 120855. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120855>

Toledo-Aceves, T., Trujillo-Miranda, A. L., y López-Barrera, F. (2021). Tree regeneration in active and passive cloud forest restoration: Functional groups and timber species. *Forest Ecology and Management*, 489, 119050. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2021.119050>

Urrea-Galeano, L. A., Andresen, E., Coates, R., Mora Ardila, F., y Ibarra-Manríquez, G. (2019). Dung beetle activity affects rain forest seed bank dynamics and seedling establishment. *Biotropica*, 51(2), 186–195. <https://doi.org/10.1111/btp.12631>

Valencia-Avalos, S., Sabas Rosales, J. L., y Soto Arellano, O. J. (2016). A new species of *Quercus*, section *Lobatae* (Fagaceae) from the Sierra Madre oriental, Mexico. *Phytotaxa*, 269(2), 120–126. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.269.2.5>

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, 177–185.

