



Madera y bosques

ISSN: 1405-0471

ISSN: 2448-7597

Instituto de Ecología A.C.

Clark-Tapia, Ricardo; Mendoza Ochoa, Ana; Aguirre-Hidalgo, Víctor;  
Antúñez, Pablo; Campos Contreras, Jorge Eduardo; Valencia-  
A., Susana; Luna-Krauletz, María Delfina; Alfonso-Corrado, Cecilia  
Reproducción sexual de *Quercus macdougallii*, un encino endémico de la Sierra Juárez, Oaxaca  
Madera y bosques, vol. 24, núm. 2, e2421617, 2018  
Instituto de Ecología A.C.

DOI: 10.21829/myb.2018.2421617

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61760264020>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto



# Reproducción sexual de *Quercus macdougallii*, un encino endémico de la Sierra Juárez, Oaxaca

## Sexual reproduction of *Quercus macdougallii*, an endemic oak of Sierra Juárez, Oaxaca

Ricardo Clark-Tapia<sup>1</sup>, Ana Mendoza Ochoa<sup>2</sup>, Víctor Aguirre-Hidalgo<sup>1</sup>, Pablo Antúñez<sup>1</sup>, Jorge Eduardo Campos Contreras<sup>3</sup>, Susana Valencia-A.<sup>4</sup>, María Delfina Luna-Krauletz<sup>1</sup> y Cecilia Alfonso-Corrado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad de la Sierra Juárez. Instituto de Estudios Ambientales. Oaxaca, Oax., México.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. Unidad de Biotecnología y Prototipos, FES-Iztacala. Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México.

<sup>4</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Ciudad de México, México.

\* Autora de correspondencia. liana@unsij.edu.mx

### RESUMEN

*Quercus macdougallii* Martínez es una especie endémica y amenazada de la Sierra Juárez, Oaxaca, México, que requiere de aplicar estrategias de preservación *in situ* de sus poblaciones para promover su permanencia a largo plazo. Para lograrlo, es necesario conocer los mecanismos de reproducción sexual de esta especie. Este trabajo, analiza factores que afectan el establecimiento y el crecimiento de plántulas de *Q. macdougallii*, con la finalidad de dar recomendaciones para su preservación *in situ*. El estudio se realizó de 2009 a 2010 y consistió en cuantificar la producción de bellotas, estimar porcentajes de depredación y parasitismo, estimar germinación de bellotas y evaluar el crecimiento y la supervivencia de plántulas. Los primeros dos objetivos se realizaron en condiciones de campo y laboratorio, mientras que el tercer objetivo solo fue analizado en condiciones de laboratorio. Paralelamente, se realizó un experimento para estimar el éxito de un plan de reforestación realizado tanto en condiciones de disturbio, como en condiciones sin disturbio. Los resultados obtenidos sugieren que la especie estudiada presenta una producción promedio de  $1735 \pm 832$  bellotas, una baja depredación por consumo ( $< 7\%$ ) y un parasitismo de  $8.7\%$ . La germinación y el crecimiento en campo y en laboratorio fueron mayores en bellotas grandes ( $> 1.701$  g) que en medianas ( $1.045$  g -  $1.70$  g) y pequeñas ( $0.350$  g -  $1.044$  g), con un porcentaje de germinación promedio de  $50\%$ . La supervivencia de plántulas fue de  $10\%$  en sitios con disturbio y de  $75\%$  en condiciones sin disturbios. Se sugiere recolectar bellotas grandes para realizar programas de reforestación; para ello, es recomendable poner a germinar las bellotas en el laboratorio, dejarlas crecer durante seis meses y trasplantarlas al inicio de la época de lluvia y bajo el dosel de árboles madre.

PALABRAS CLAVE: bellota, crecimiento, germinación, plántulas, reforestación, supervivencia.

### ABSTRACT

*Quercus macdougallii* Martínez is an endemic and threatened species of the Sierra Juárez, Oaxaca. Effective conservation and restoration programs that ensure long-term *in situ* populations are needed in the region. Therefore, an important aspect to consider is adequate knowledge of how to reproduce this species, specifically, knowledge of the ecology of seeds and seedlings. The objective of this study was to evaluate the sexual reproduction (acorn) of this species, in order to generate recommendations for its conservation. Seed production from 2009 to 2010 was recorded as well as seed depredation, seed parasitism, germination percentage and survival of seedling coming from seeds of three different sizes-classes. The objectives one and two were evaluated in the laboratory and in the field, while the objective three was analysed in the laboratory. Results showed that the species had an average yield per tree of  $1735 \pm 832$  seeds, low depredation ( $< 7\%$ ) and low parasitism rates ( $8.7\%$ ). Seed germination and seedling growth in the field and in the laboratory were higher in large ( $> 1.701$  g) than in medium ( $1.045$  g -  $1.70$  g) and smaller seeds ( $0.350$  g -  $1.044$  g), with a mean germination percentage of  $50\%$ . Seedling survival was  $10\%$  in the disturbed site and  $75\%$  in the undisturbed site. It is recommended to collect large seeds for reforestation programs. To do this, it is advisable to germinate acorns in the laboratory, let them grow for six months and transplant them at the beginning of the rainy season under the canopy trees.

KEYWORDS: seedling, growth, germination, acorn, reforestation, survival.

## INTRODUCCIÓN

La germinación de bellotas y supervivencia de plántulas son dos fases de vital importancia en el ciclo de vida de las plantas (Harper, 1977). Diversos estudios sobre el género *Quercus* presentan problemas de regeneración, tanto en la producción de bellotas, como en el establecimiento de nuevos individuos (Lombardo y McCarthy, 2009; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). Factores como la sensibilidad de bellotas a la desecación (Zavala-Chávez, 2004; Ntuli, Finch-Savage, Berjak y Pammenter, 2011), la depredación (Lombardo y McCarthy, 2009; Díaz-Fleischer *et al.*, 2010), una producción irregular (Kelly y Sork, 2002; Lombardo y McCarthy, 2009), la fragmentación del hábitat (Alfonso-Corrado *et al.*, 2014) y micrositios no favorables para su establecimiento (Montes-Hernández y López-Barrera, 2013) han sido señalados como causas de una baja tasa de germinación y establecimiento. Por lo tanto, el conocimiento de estos procesos es fundamental para el éxito de programas de conservación y restauración de las especies de encinos endémicas y amenazadas (Pulido, 2002; Martínez-Pérez, Orozco-Segovia y Martorell, 2006; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014).

Una especie endémica, es aquella cuya distribución natural es exclusiva de una región en particular (Primack, 2012), mientras que una especie amenazada es cualquier especie susceptible de extinguirse en un futuro próximo de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN] (2010). Estas especies, son más susceptibles a procesos de cambios ambientales, por lo que requieren programas precisos y efectivos de conservación y restauración, que garanticen la permanencia de sus poblaciones a largo pazo (Navarro y Guitián, 2003). Un requisito para lograr este objetivo es el conocimiento adecuado de cómo reproducir a las especies, específicamente, el conocimiento de la ecología de las bellotas (Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). Esto resulta fundamental dado que bellotas viables de una gran variedad de especies no germinan, aún en condiciones favorables, ya sea por algún tipo de latencia o daño interno (Zavala-Chávez, 2004).

México contiene entre 135 y 161 especies del género *Quercus*, de estas, 106 son endémicas (Valencia-A., 2004); por esta razón, nuestro país es considerado el centro de diversificación del género. Los encinos se distribuyen principalmente en zonas montañosas de clima templado, siendo el componente dominante

o codominante del dosel del bosque en estas regiones y un reservorio de biodiversidad, además de ser el segundo grupo de importancia forestal en México (Valencia-A., 2004). A pesar de la importancia ecológica y económica que representan los encinos y la amplia diversidad de especies en México, menos de 30 % de las especies se han estudiado en cuanto a la ecología de las bellotas (Bonfil, 1998; Zavala-Chávez, 2004; Rubio-Licona *et al.*, 2011; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014; Aguilar-Peralta, González-Rodríguez, González-Esquivel y Cuevas-Reyes, 2016). En este estudio, se evalúa la germinación de bellotas (denominadas también como nueces), así como la supervivencia y crecimiento de plántulas de *Quercus macdougallii* Martínez, una especie de encino endémico de La Sierra Juárez, Oaxaca (Anacleto-Carmona, 2015). Esta especie está incluida en la lista roja de la IUCN (2010), en la categoría de vulnerable, debido a la pérdida y fragmentación de su hábitat, se desconocen aspectos relacionados con su biología reproductiva.

*Quercus macdougallii* se distribuye en la vertiente de Cerro Zacate-Humo Grande ubicada en los municipios de Santiago Comaltepec, San Pedro Yolox y San Juan Quiotepec en el estado de Oaxaca (Anacleto-Carmona, 2015). Robson (2008) menciona que los bosques en esta zona se han modificado históricamente con fines forestales, agrícolas y ganaderos; además, han estado sujetos a desastres naturales tales como incendios y nevadas, generando un efecto negativo en la dinámica y estructura poblacional de diversas especies de plantas, entre ellas *Q. macdougallii*. El análisis de la abundancia y distribución realizada en seis poblaciones de *Q. macdougallii* (Anacleto-Carmona, 2015) sugieren que la regeneración es escasa, similar a lo que ocurre con otras especies de encinos de México (*e.g.*, Zavala-Chávez, 2004; Alfonso-Corrado, Clark-Tapia y Mendoza, 2007; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014); de ahí que la detección de las condiciones que promuevan el establecimiento de nuevos individuos equivale, en la práctica, a evitar la extinción de una especie.

## OBJETIVOS

Este estudio evalúa el éxito de la reproducción sexual de *Q. macdougallii* por bellota, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos particulares: a) realizar pruebas de calidad de las bellotas, b) analizar el efecto del tamaño de estas en la germinación y supervivencia de plántulas en campo y laboratorio,



c) evaluar el efecto del tamaño de la bellota en el crecimiento de las plántulas en laboratorio y d) analizar la supervivencia y crecimiento de plántulas reforestadas en campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se encuentra ubicada en la Sierra Juárez, dentro del sistema montañoso de la Sierra Madre de Oaxaca, México, caracterizada por su accidentado relieve debido a los procesos de orogénesis a que estuvo sometida desde el Paleozoico (Anacleto-Carmona, 2015). En esta región se encuentra la vertiente Cerro Zacate-Humo Grande, área de distribución de *Q. macdougallii* perteneciente a los municipios de San Pedro Yolo, Santiago Comaltepec y San Juan Quiotepec (Anacleto-Carmona, 2015). Esta área comprende un cordón montañoso con diversas elevaciones: Cerro Zacate (3015 m snm), Cerro Machín (2648 m snm), Cerro el Mirador (3050 m snm), Cerro Pelón (3126 m snm), Cerro Humo Chico (3160 m snm) y Cerro Humo Grande (3274 m snm) (Anacleto-Carmona, 2015). El clima del área de estudio es templado húmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 1600 mm y una temperatura media anual de 14 °C (Anacleto-Carmona, 2015). La precipitación del mes más seco es menor a 40 mm, con un promedio de 767 mm y con lluvias invernales entre 5% y 10% del total anual (Clark-Tapia, Suárez-Mota, Matías-Nolasco y Velasco-Hipólito, 2016).

### Descripción de la especie

*Q. macdougallii* (Sección Quercus, encinos blancos) se colectó en 1963 por Thomas MacDougall (Instituto de Biología: registro 51 897) y se identificó en 1964 por Maximino Martínez (citado en Valencia-A., 2004). Es un árbol perennifolio monoico que puede alcanzar hasta 40 m de altura con diámetro del tronco de hasta 4 m, en edad adulta. Su periodo de floración es de mayo a julio y el periodo de fructificación de noviembre a enero. La especie presenta una distribución restringida a altitudes menores a 2600 m snm y una dinámica poblacional contrastante, conforme se incrementa la altitud. De 2600 m a 2750 m snm existe poca abundancia ( $\approx 50$  ind/ha), con predominancia de individuos jóvenes o latizales ( $< 10$  cm de diámetro y 6 m de altura); entre 2750 m y 2950 m snm, la abundancia de individuos es mayor ( $\approx$

150 ind/ha) y las categorías incluyen a plántulas, jóvenes y adultos con alturas de hasta 40 m, mientras que en altitudes mayores a 3050 m snm ocurre una baja presencia de individuos ( $\approx 10$  ind/ha) con alturas menores a 2 m (Anacleto-Carmona, 2015).

### Colecta de bellotas

A principios de octubre de 2009 se realizó un recorrido por la población de “Cerro El Mirador” (17° 38' N y 96° 23' W), la cual abarca una superficie aproximada de 0.4 km<sup>2</sup>, con la finalidad de encontrar y georeferenciar con un geoposicionador GPS Garmin 12XL® individuos reproductivos ( $> 30$  cm de diámetro y  $> 20$  m de altura), de noviembre a diciembre, durante la época de fructificación. Se colocaron dos trampas de 1 m<sup>2</sup> debajo de los 56 individuos reproductivos con bellotas maduras. En 2009 se ubicaron y seleccionaron 16 árboles madre (28.5% del total de los individuos reproductivos), mismos que fueron seleccionados nuevamente en 2010 para el conteo de bellotas. En el año 2009 se registró en promedio una baja producción ( $616 \pm 72$  bellotas por árbol), en comparación con el año 2010 ( $2735 \pm 832$ ), o con un muestreo prospectivo realizado en 2008 ( $1575 \pm 42$ ). En 2009, solamente se recolectaron 750 bellotas, mientras que en 2010 fueron 2448. Las bellotas de cada año fueron procesadas a la semana de ser colectadas y, de ellas, se obtuvo un total de seis variables, incluyendo viabilidad, categoría según su tamaño, germinación, supervivencia, crecimiento y reforestación.

### Calidad de las bellotas

Se aseguró que las bellotas recolectadas estuvieran maduras, usando como indicadores de madurez: la coloración y separación entre la cúpula y la bellota (Díaz-Pontonez y Reyes-Jaramillo, 2009). Las bellotas se trasladaron al Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad de la Sierra Juárez, área de Ecología (LEA-U), donde se lavaron y desinfectaron con agua destilada, hipoclorito de sodio con una concentración de 10% y un fungicida (Kaptan®). Posteriormente, se sumergieron en agua destilada durante 48 horas para hidratarlas y extraer las nueces parasitadas siguiendo la metodología de Gribko y Jones (1995). Las bellotas con evidencias de depredación, herbivoría o las que flotaron, se eliminaron en este proceso. Para este último caso, se presumió una destrucción del endospermo por insectos o por pudrición por hongos, por consiguiente, sin una capacidad

germinativa; por el contrario, aquellas que se hundieron aún poseen endospermo y embrión viable para germinar (Bonner, 2003).

### Categorías de tamaño

Para la clasificación, según el tamaño, se pesaron las bellotas viables usando una balanza analítica con 0.0001 g de precisión (Velab LA-204 ®), en tanto que la longitud y la anchura se midieron con un calibrador vernier de precisión marca Mahr de 150 mm de alcance y 0.01 mm de precisión. Las bellotas se clasificaron en tres categorías según su tamaño y peso fresco: bellotas pequeñas (< 1.045 g; promedio  $0.88 \pm 0.16$  g, n = 100), medianas (1.045 g - 1.700 g; promedio  $1.35 \pm 0.31$  g, n = 100) y grandes (> 1.701 g; promedio  $2.30 \pm 0.60$  g, n = 100). Esta clasificación se hizo usando como referencia el promedio de las dimensiones de cada bellota, procurando que cada individuo de la misma categoría tuviese tamaños similares (entre los límites de la desviación estándar), con la finalidad de probar si el tamaño de estas influye significativamente en la capacidad germinativa (*e.g.*, Alfonso-Corrado *et al.*, 2014).

### Germinación

Para evaluar el efecto del tamaño de la bellota sobre el porcentaje de germinación en condiciones de laboratorio e *in situ*, se hicieron pruebas de germinación para lo cual, las bellotas se colocaron sobre la superficie de agrolita humedecida colocada en charolas de plástico (se utilizaron charolas exclusivas para cada categoría de tamaño; 70 y 200 bellotas por categoría colectadas en 2009 y 2010, respectivamente). Una vez germinadas las plántulas, se trasplantaron en bolsas de plástico de polietileno para vivero (8 cm × 14 cm) con sustrato de la misma área de procedencia de los árboles madre, combinado con agrolita y hojarasca triturada. En campo, de manera similar, se sembraron 210 y 600 bellotas (70 y 200 en el año 2009 y 2010, respectivamente) bajo el dosel de cuatro árboles madre, sobre del mantillo para replicar las condiciones de caída. En esta etapa, no se aplicó riego a diferencia del laboratorio, donde las bellotas fueron regadas una vez a la semana. En ambos casos, se aplicaron tres repeticiones para cada categoría y se dio seguimiento a la germinación una vez por semana, hasta observar el rompimiento de la testa y una radícula emergida con al menos 5 mm de longitud (*e.g.*, Bonfil, 1998;

Zavala-Chávez, 2004; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). En cada año, el periodo de germinación duró seis meses (diciembre a mayo).

En 2010, se analizó el efecto de la escarificación (tratamiento pregerminativo de eliminación de la cáscara o pericarpio) sobre la germinación de las bellotas, dado que sus bellotas tienen un pericarpio duro e impermeable. Para este análisis, se seleccionaron 600 bellotas, todas con un peso mayor a 1.5 g, con la finalidad de incluir solamente bellotas medianas y grandes (como categoría única), de las cuales, la mitad fueron escarificadas. Las bellotas se colocaron en charolas con agrolita humedecida para su germinación, a la cual se dio seguimiento durante seis meses.

### Supervivencia

La supervivencia de las plántulas se evaluó una vez a la semana tanto en condiciones de laboratorio como en campo, durante siete meses, considerándose como plántula muerta aquella que mostró abscisión o necrosis total en sus hojas.

### Crecimiento

Para cada período de estudio, siete meses después de la germinación (diciembre a julio), se seleccionaron aleatoriamente 10 plántulas de cada categoría de tamaño en el año 2009 y 30 en 2010. El número seleccionado por año fue con base en la disponibilidad de plántulas, con menor abundancia en 2009, año en que no fue posible obtener un mínimo de 15 como lo sugieren Quero, Villar, Maraón, Zamora y Poorter (2007). Asimismo, se seleccionaron 30 plántulas procedentes de bellotas escarificadas y 30 sin escarificar, número de plántulas que supera el mínimo sugerido por Quero *et al.* (2007). Al total de plántulas seleccionadas (100), se les registró la longitud del tallo, la longitud de la raíz, la cobertura de copa y el peso seco, este último se obtuvo en un horno de secado a 80 °C durante 48 h (*e.g.*, Quero *et al.*, 2007).

### Reforestación

Dada la baja ocurrencia de plántulas (< 15 ind/ha; Anacleto, 2015) en 2010, las plántulas supervivientes del experimento de germinación y escarificación se colocaron en una localidad con ocurrencia de esta especie (Cerro el Mirador), antes de someterse a estrés hídrico (sin riego), por un periodo de cuatro semanas. La



altura media de las plántulas llevadas a campo era de  $14.45 \text{ cm} \pm 2.43 \text{ cm}$ . La reforestación se hizo en julio, dos meses después de iniciada la temporada de lluvias, además de ser uno de los meses con registros de precipitaciones significativas en la zona de estudio. En el campo, las plántulas se transplantaron a tres altitudes (3050 m, 2850 m y 2750 m snm), procurando abarcar el gradiente altitudinal en el que se distribuye la especie. Por otro lado, para evaluar el posible efecto de la exposición directa del sol en la supervivencia de las plántulas, la mitad de ellas se plantó bajo sombra (con coberturas arbóreas de 60% a 80% proporcionada por especies dominantes como *Q. macdougallii*, *Q. laurina* Humb. & Bonpl. y *Pinus ayacahuite* Ebn) y la otra mitad expuestas al sol en áreas sin cobertura arbórea. Las condiciones en las áreas con exposición directa del sol, a menudo presentan condiciones con disturbio (incendios y extracción de madera en rollo) en cambio, las condiciones bajo sombra (condiciones sin disturbio), la conforman individuos dominados por *Q. macdougallii* en asociación con especies propias del bosque templado. El número total de plántulas por altitud fue de 60, con 30 en cada condición; se dio seguimiento a su crecimiento durante un año.

### Análisis de datos

Para examinar si el tamaño y el peso de las bellotas afecta significativamente la supervivencia de las plántulas, se hizo un análisis de varianza con prueba de contraste de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) (Quero *et al.*, 2007). Para contrastar diferencias en la calidad de bellotas entre años se efectuó una prueba de chi-cuadrada de Kruskal-Wallis (Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). Se realizó, además, un análisis de varianza de una vía para analizar diferencias significativas en la germinación de las bellotas y la categoría de tamaño (Quero *et al.*, 2007; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). Asimismo, para evaluar el efecto del tamaño de la bellota sobre la supervivencia de las plántulas, se hizo un análisis de varianza de una vía (Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). Para ello, los datos absolutos de supervivencia se transformaron, calculando la raíz cuadrada del arco seno a fin de estabilizar la varianza, antes de aplicar el análisis de varianza. Finalmente, para contrastar diferencias en la supervivencia y crecimiento de las plántulas, en función de la altitud y condiciones (sombra y sol), se efectuó un

diseño en bloques al azar y un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis. Los análisis se hicieron usando el paquete estadístico XLSTAT v. 2015 (Addinsoft, 2015).

## RESULTADOS

### Producción

Se encontraron diferencias significativas en la producción de bellotas entre los años 2009 y 2010 ( $q = 15.33$ ,  $P < 0.05$ ). El peso promedio de las bellotas ( $n = 600$ ) fue mayor en 2010 ( $1.42 \text{ g} \pm 0.43 \text{ g}$ ) que en 2009 ( $1.32 \text{ g} \pm 0.59 \text{ g}$ ); sin embargo, no hubo diferencias significativas entre años. En ambos años, la longitud de las bellotas se correlacionó alta y positivamente con el peso fresco ( $r = 0.957$ ,  $P < 0.001$ ), por lo que se infiere que, al aumentar la longitud de la bellota, aumenta también su peso.

### Viabilidad

No se encontraron diferencias en la viabilidad de las bellotas (86.3% y 74.5%) entre años; sin embargo, la prueba de chi-cuadrada mostró diferencias significativas ( $\chi^2 = 21.4$ ,  $P = 0.05$ ) en la infestación por curculiónidos (8.7% y 14.5%, respectivamente). La pérdida de bellotas por depredación fue baja en ambos años de estudio (5% y 7%, respectivamente). Se registró que las bellotas medianas y grandes presentaron una mayor infestación y depredación que las bellotas pequeñas.

### Germinación

Al comparar el porcentaje de bellotas germinadas entre los dos años estudiados (2009 y 2010) no se observaron diferencias significativas (Fig. 1a y 1b). En campo, se encontraron diferencias significativas entre las tres categorías de tamaño ( $F = 95.75$ ,  $P < 0.001$ ), mientras que en laboratorio, las bellotas clasificadas en la categoría grande y mediana mostraron superioridad sobre las pequeñas ( $P < 0.001$ ). El porcentaje de germinación fue mayor en el laboratorio ( $> 50\%$ ) que en el campo ( $< 20\%$ ) con diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.001$ ) (Fig. 1a y 1b). En condiciones de laboratorio, las bellotas de la categoría grande y mediana alcanzaron una germinación superior a 50%, lo cual se logró después de 38 días y 51 días, respectivamente.

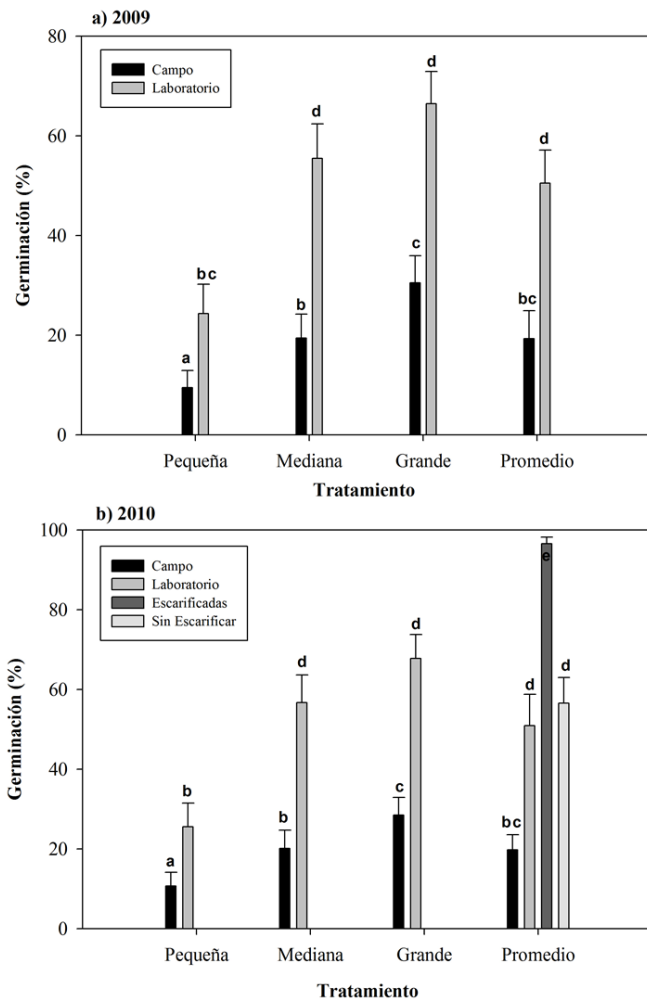


FIGURA 1. Porcentaje de germinación en las tres categorías de tamaño de las bellotas y total en *Q. macdougalii* en el año 2009 (a) y 2010 (b).

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las categorías de tamaño ( $P < 0.001$ ).

En 2010, las bellotas escarificadas mostraron un alto porcentaje de germinación (94.5%) y un tiempo medio de germinación de nueve días, en contraste, aquellas sin escarificar mostraron un comportamiento similar a las categorías grande y mediana en condiciones de laboratorio, con un porcentaje de germinación superior a 50% y un tiempo medio de germinación mayor de 30 días (Fig. 1b).

### Supervivencia

En supervivencia, se observó un comportamiento similar al porcentaje de germinación (Fig. 2a y 2b), siendo mayor en laboratorio que en el campo en ambos años estudiados ( $F =$

42.59,  $P = 0.001$ ); de igual manera, en laboratorio, las plántulas provenientes de las bellotas grandes mostraron mayor supervivencia que las provenientes de medianas y pequeñas ( $F = 5.45$ ;  $P = 0.05$ ). En campo se obtuvo que la supervivencia de las plántulas provenientes de las bellotas pequeñas fue menor y difiere de manera significativa de las medianas y de las grandes ( $F = 8.050$ ;  $P = 0.001$ ). Por otra parte, no se observaron las diferencias significativas en la supervivencia de las plántulas provenientes de bellotas escarificadas y sin escarificar, pero sí en el porcentaje de germinación (Fig. 2b).

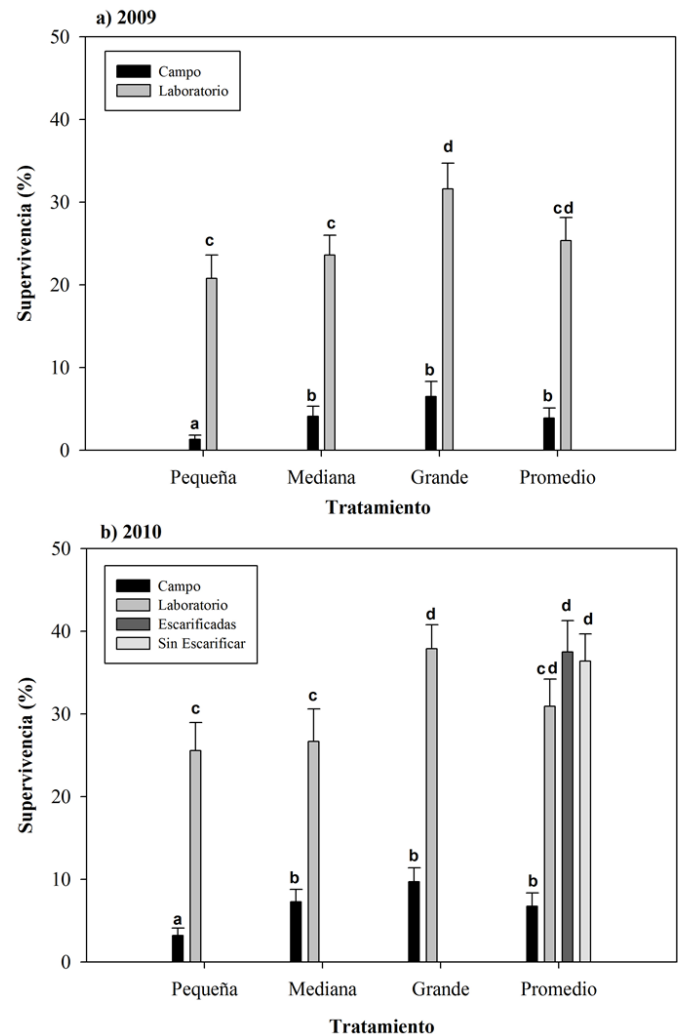


FIGURA 2. Porcentaje de supervivencia de plántulas en las tres categorías de tamaño de las bellotas de *Q. macdougalii* en el año 2009 (a) y 2010 (b).

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las categorías de tamaño ( $P < 0.001$ ).



## Crecimiento

En crecimiento, las plántulas provenientes de bellotas medianas y grandes crecieron significativamente más que las provenientes de bellotas pequeñas, siendo evidente en la longitud del tallo y longitud de la raíz ( $F = 9.969$ ;  $P = 0.024$ ). Las bellotas escarificadas y sin escarificar mostraron un comportamiento similar al de supervivencia, al no mostrar diferencias significativas entre ellas (Tabla 1).

## Reforestación

En supervivencia y crecimiento de las plántulas introducidas al campo, se registraron diferencias significativas entre los tres gradientes altitudinales ( $X^2 = 32$ ,  $P = 0.001$ ), así como una incidencia significativa en el crecimiento y cobertura de copa de las condiciones bajo sol y bajo sombra ( $X^2 = 34$ ,  $P = 0.001$ ) (Tabla 2). Bajo sol, las plántulas presentaron alta mortalidad ( $> 90\%$ ) y bajo incremento en sus dimensiones durante el tiempo evaluado. En altitudes de 2850 m snm y condiciones de sombra se registraron los porcentajes más elevados de supervivencia ( $> 75\%$ ), el menor porcentaje fue en 3050 m snm y en condiciones de sol (Fig. 3).

## DISCUSIÓN

*Q. macdongallii* presentó en 2009 una baja producción de bellotas promedio por árbol ( $616 \pm 72$ ) en comparación con 2010 ( $2735 \pm 832$ ) y con 2008 ( $1575 \pm 42$ ). Este fenómeno de fluctuación en encinos ha sido registrado a escala internacional, donde la

producción de bellotas varía de un año a otro, desde escasas hasta cientos de bellotas por individuo y, en algunas especies como *Q. macdongallii*, existe una sincronización en la fructificación, dentro de la población, fenómeno conocido como “mast-seeding” (Alfonso-Corrado *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2017). Entre los factores responsables de la variación anual en la producción de bellotas, se han sugerido varias hipótesis tales como: 1) una polinización eficiente (Wang *et al.*, 2017), 2) saciedad del depredador (Leiva y Díaz-Maqueda, 2016; Pearse, Koeing y Kelly, 2016), 3) control hormonal, 4) factores hereditarios (Pearse *et al.*, 2016), 5) variabilidad climática (Wang *et al.*, 2017) y 6) fragmentación del hábitat (Morán-López, Forner, Flores-Rentería, Díaz y Valladares, 2016). En el caso particular de *Q. macdongallii* uno de los factores abióticos, decisivos en la producción interanual de bellotas está relacionado con la variabilidad climática del sitio de estudio, en particular, con la baja precipitación antes de la floración, fenómeno también observado en otras especies de encinos (*e.g.*, Pérez-Ramos, Ourcival, Limousin y Rambal, 2010; Morán-López *et al.*, 2016). Estos investigadores encontraron que la precipitación es un factor esencial en la producción de bellotas y que esta es mayor en años de precipitación, respecto a años más secos. En este estudio, la producción de bellotas fue menor en el año 2009, año de menor precipitación media anual y mayor temperatura (1102 mm y 26.6 °C), que el 2010 (1665.51 mm y 26.4 °C) y 2008 (1175 mm y 26.2 °C) (Clark-Tapia *et al.*, 2016), lo que podría apoyar la última hipótesis mencionada.

TABLA 1. Influencia del tamaño de la bellota en el crecimiento en laboratorio de plántulas en *Q. macdongallii*.

Variable	Año	Pequeña	Mediana	Grande	Escarificada	Sin escarificar
Longitud del tallo (cm)	2009	$3.93 \pm 1.90$	$6.89 \pm 1.99$	$8.74 \pm 1.58$	-	-
	2010	$4.44 \pm 2.32$	$8.76 \pm 2.19$	$10.58 \pm 2.42$	$10.36 \pm 3.01$	$9.88 \pm 2.44$
Longitud de la raíz (cm)	2009	$6.52 \pm 2.36$	$10.54 \pm 1.69$	$12.96 \pm 1.84$	-	-
	2010	$10.82 \pm 4.12$	$18.48 \pm 3.99$	$20.38 \pm 5.4$	$21.9 \pm 4.4$	$19.9 \pm 1.56$
Cobertura de copa (cm <sup>2</sup> )	2009	$1.43 \pm 0.83$	$3.99 \pm 1.64$	$4.56 \pm 1.73$	-	-
	2010	$1.73 \pm 1.14$	$4.69 \pm 1.45$	$5.16 \pm 1.63$	$5.48 \pm 3.4$	$4.89 \pm 1.64$
Biomasa (g)	2009	$4.0 \pm 1.5$	$8.0 \pm 2.2$	$9.0 \pm 1.7$	-	-
	2010	$5.34 \pm 2.1$	$9.8 \pm 1.4$	$11.4 \pm 3.3$	$10.6 \pm 2.9$	$11.1 \pm 2.1$

Se muestran valores promedio  $\pm$  Desviación estándar.

TABLA 2. Crecimiento y cobertura de copa promedio anual en tres altitudes (3050, 2850 y 2750 m snm) y condiciones con disturbio (sol) y sin disturbio (sombra) en plántulas reforestadas.

Altitud (m snm)	3050		2850		2750	
Condición/variable	Sol	sombra	sol	sombra	sol	sombra
Crecimiento (cm)	0.13 ± 0.31	2.99 ± 3.73	0.63 ± 1.01	9.26 ± 0.73	0.29 ± 0.36	6.41 ± 0.80
Cobertura (cm <sup>2</sup> )	0.19 ± 0.17	2.78 ± 1.96	2.9 ± 1.67	7.03 ± 0.71	1.06 ± 0.07	5.69 ± 0.42

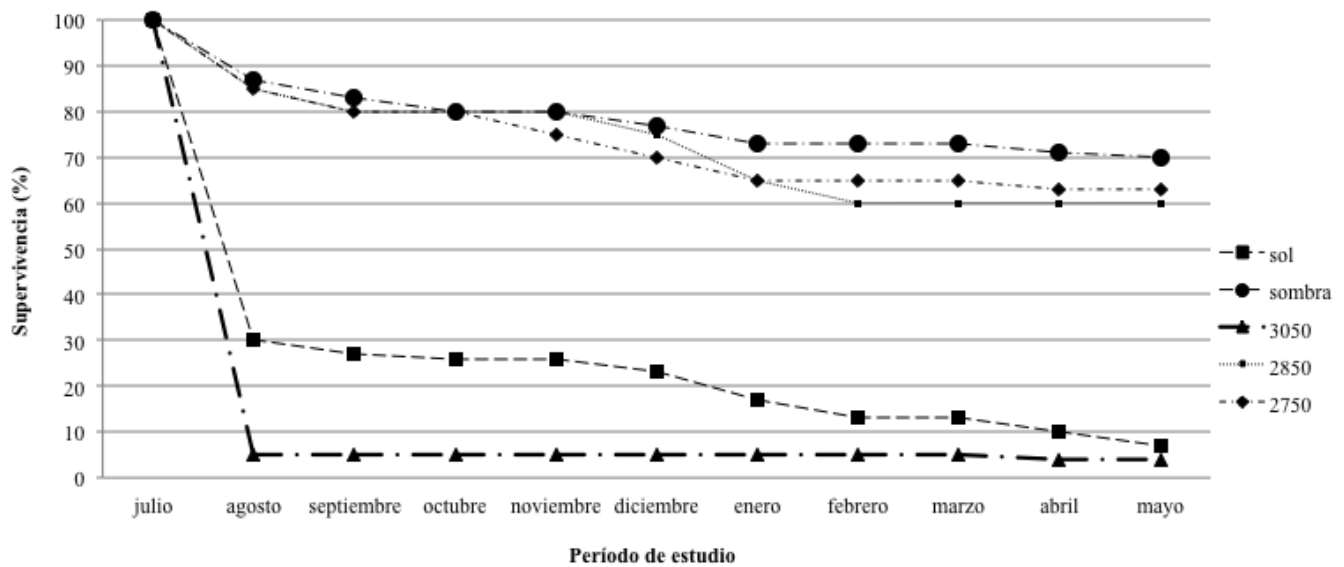


FIGURA 3. Porcentaje de supervivencia de plántulas reforestadas bajo diferentes condiciones de luminosidad (sol y sombra) y altitud (3050 m, 2850 m y 2750 m snm).

Por otra parte, se ha documentado que la viabilidad de las bellotas disminuye principalmente por la destrucción del endospermo ocasionada por larvas de insectos, además que la infestación se incrementa en años de mayor producción (Gómez, García y Zamora, 2003; Aguilar-Peralta *et al.*, 2016). En este estudio, el porcentaje de daño ocasionado a las bellotas por larvas de escarabajos (Curculionoideae) incrementó su infestación en año de mayor producción. No obstante, la infestación obtenida en ambos años es baja comparada con otros estudios ( $\approx 30\%$  -  $50\%$ ) (Leiva y Fernández-Alés, 2005; Díaz-Fleischer *et al.*, 2010; Aguilar-Peralta *et al.*, 2016). Se ha señalado que factores abióticos como la altitud, temperatura y precipitación pueden ser responsables de la variación de infestación en diferentes especies

(Leiva y Fernández-Alés, 2005; Díaz-Fleischer *et al.*, 2010; Aguilar-Peralta *et al.*, 2016; González-Rodríguez, González-Esquivel y Cuevas-Reyes, 2016). El intervalo de altitud superior a los 2850 m snm (Anacleto-Carmona, 2015), donde se colectaron las bellotas, puede ser un factor importante en la escasa depredación observada. Aguilar-Peralta *et al.* (2016) registraron una disminución de depredadores conforme la altitud decrece. Ellos encontraron que al decender 100 m, la temperatura disminuye  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de tal modo, sugieren que las diferencias de temperaturas a lo largo de un gradiente altitudinal condicionen la presencia de los depredadores y por consiguiente la afectación de las bellotas. En el futuro podría explorarse si existe una relación



causal entre la temperatura, la precipitación en función de las altitudes y el tamaño de bellota.

Por otro lado, el porcentaje de germinación obtenido para *Q. macdongallii* es bajo (55%), si se comparan con estudios de germinación de encinos en México (Bonfil, 1998; Díaz-Fleischer *et al.*, 2010; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014; Rodríguez-Trejo y Pompa-García, 2016), donde se han registrado porcentajes de germinación mayores a 60%. El tiempo requerido para obtener 50% de germinación de 38 días en promedio, sin escarificación, es semejante al observado por Martínez-Pérez *et al.* (2006) para *Q. deserticola*. Estos autores sugieren la presencia de un tipo de latencia que limita la germinación de las bellotas en dicho experimento, la presencia de una cáscara dura se ha encontrado como un factor que limita la germinación. La germinación media en menos de nueve días en bellotas escarificadas limita la germinación, particularmente si esta se deseca, lo cual la torna más dura. En encinos, la escarificación de bellotas aumenta los porcentajes de germinación, por ello se recomienda para especies de encinos cuyos niveles de germinación sean bajos, similares al de *Q. macdongallii*. Sin embargo, en estrategias de reforestación se debe tomar en cuenta que la eliminación del pericario tiene, de manera general, un mayor efecto en el porcentaje de germinación y un mínimo efecto en el desarrollo de las plántulas (*e.g.*, Liu *et al.*, 2012).

En contraparte, los porcentajes de germinación en campo son consistentes con los obtenidos en otros experimentos, obteniéndose un porcentaje de germinación inferior a 50% considerando otros factores como la desecación o depredación (Leiva y Fernández-Alés, 2005). La depredación en la especie es baja comparada con lo observado por Gribko, Schuler y Ford (2002), siendo la desecación la principal causa de mortalidad en campo. Esto se debe a que las bellotas son recalcitrantes y pierden rápidamente su capacidad de germinación después de la diseminación al quedar expuestas a condiciones de baja humedad (Zavala-Chávez, 2004; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). *Quercus macdongallii* presenta una amplia variación en los tamaños de bellotas y una correlación positiva entre la biomasa y el tamaño de la bellota. Esta diferencia en el tamaño de las bellotas y la correlación que existe en la especie, entre tamaños ha sido documentada para otros encinos (Bonfil, 1998; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014) y ha sido descrita como un buen indicador de la

cantidad y calidad de nutrientes en la bellota (Leiva y Fernández-Alés, 2005).

Diversos estudios con encinos (Bonfil, 1998; Guo, Lu, Yang y Zhao, 2009) documentan un aumento en la germinación, crecimiento y supervivencia conforme se incrementa el tamaño de las bellotas, atribuyendo esto a las reservas metabólicas adicionales, en cantidad y calidad nutricional debido al mayor volumen en las bellotas (Guo *et al.*, 2009). El tamaño de las bellotas es una característica importante que influye en la adecuación de las plantas (Dalling y Hubbell, 2002; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014), que puede estar influenciado por el medio ambiente (Takahashi, Shibata y Shimada, 2011) y aspectos genéticos, únicas en cada especie que conllevan a estrategias evolutivas y de historias de vida particulares (Siscart, Diego, Lloret y Bellot, 1999; Leiva y Fernández-Alés, 2005; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). Las bellotas consideradas grandes (*e.g.*, Siscart *et al.*, 1999; Leiva y Fernández-Alés, 2005) como los resultados encontrados en este estudio ( $> 1.7$  g clase 3) confieren ventajas evolutivas permitiendo cotiledones más grandes y movimientos rápidos de sus reservas (Branco, Branco, Merouami y Almeida, 2002), aumento de la resistencia a la sequía y protección contra parásitos (Leiva y Fernández-Alés, 2005; Takahashi *et al.*, 2011) por sus gruesas paredes del pericarpio, aumento de la germinación y el desarrollo de las plántulas (Quero *et al.*, 2007). Esta especie vive en ambientes a gran altura, fríos, en bosques con espacios semi-abiertos con poco mantillo en el suelo y con grandes pendientes, por lo que sus bellotas muchas veces están expuestas en el suelo y al ser recalcitrantes pierden humedad fácilmente y mueren, por lo que el reclutamiento de grandes bellotas es crucial para el éxito del establecimiento.

No obstante, debe tomarse en cuenta que la reforestación se realizó con plántulas de menor altura ( $14.45 \pm 2.43$ ) a la recomendada en latifoliadas (20 cm a 35 cm) de acuerdo con la Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010), esto no fue un factor que influyera en la supervivencia y crecimiento de las plántulas en los sitios de estudio. En encinos se sugiere que el establecimiento y crecimiento exitoso de las plántulas depende principalmente de la disponibilidad de luz (áreas abiertas) en el micrositio del establecimiento (Montes-Hernández y López-Barrera, 2013), con una radiación menor a 50%, que impide que procesos fisiológicos como alteración de la fotosíntesis, tasa de

crecimiento, intercambio gaseoso (Puerta-Piñero, Gómez y Valladares, 2007), desecación y estrés por temperatura y humedad (Montes-Hernández y López-Barrera, 2013) entre otros, alteren el crecimiento y supervivencia de las plántulas. *Q. macdougalii*, tuvo mayor supervivencia y crecimiento en sitios de sombra, lo que pudiera sugerir, que la cantidad de luz y radiación son factores que inciden de manera negativa en la especie, aspecto que hay que explorar en futuros experimentos particularmente para ver su sensibilidad a disturbios. Asimismo, factores como competencia inter e intraespecífica (Montes-Hernández y López-Barrera, 2013), depredación, establecimiento en micrositios cercanos a árboles madres y profundidad de enterramiento de las bellotas (Puerta-Piñero *et al.*, 2007) son factores importantes a considerar en estudios futuros que puede limitar la supervivencia y crecimiento de plántulas de una especie endémica como *Quercus macdougalii*.

## CONCLUSIONES

La especie presentó una sincronización en la fructificación (*mast-seeding*) y un bajo porcentaje de infestación por curculionidos. Ambos asociados a la variación en las condiciones ambientales. La germinación de la especie fue baja si se compara con otros encinos en México. La germinación, crecimiento y supervivencia, hasta la categoría de plántulas, aumentó con el tamaño de las bellotas, lo que se asoció con la cantidad y la calidad nutricional contenida en las bellotas. La condición de disturbio (sol) afectó la germinación de bellotas, así como el crecimiento y la supervivencia de las plántulas. Para fines de conservación y restauración es importante realizar una adecuada selección de bellotas y sitios de reforestación de tal manera que se logre un incremento en la probabilidad de éxito en los planes de reforestación en campo. Con base en los resultados obtenidos, se recomienda recolectar bellotas grandes de *Q. macdougalii* y ponerlas a germinar en el laboratorio, dejarlas crecer durante seis meses para posteriormente trasplantarlas al inicio de la época de mayor precipitación, en sitios con una cobertura arbórea mayor a 60%. Esta estrategia puede incrementar el porcentaje de supervivencia en campo hasta 70%. Este sistema puede ser aplicado a otras especies latifoliadas amenazadas, de tal manera que se incremente su probabilidad de supervivencia en condiciones naturales.

## RECONOCIMIENTOS

Al proyecto SEP-Conacyt 180790.

## REFERENCIAS

- AddinSoft. (2014). *XLSTAT* (versión 2014.3.02). BroNY, USA: Addinsoft, Inc.
- Aguilar-Peralta, J. S., González-Rodríguez, A., González-Esquivel, J. G., & Cuevas-Reyes, P. (2016). Patrones de depredación de bellotas en especies del género *Quercus* (Fagaceae) a lo largo de un gradiente altitudinal en el volcán de Tequila, Jalisco. *Biológicas*, 18(1), 1-9.
- Alfonso-Corrado, C., Clark-Tapia, R., & Mendoza, A. (2007). Demographic and management analysis of two clonal oaks: *Quercus eduardii* and *Q. potosina* (Fagaceae) in central Mexico. *Forest Ecology of Management*, 251(3), 129-141. doi: 10.1016/j.foreco.2006.11.04
- Alfonso-Corrado, C., Campos J. E., Mendoza, A., Aguirre-Hidalgo, V., Valencia-A., S., González-Adame, G., Wooden-Garvey, F., & Clark-Tapia, R. (2014). Restoration-focused germination and development of five central Mexican oak species. *Open Journal of Forestry*, 4(3), 171-180. doi: 10.4236/oft.2014.43023
- Anacleto-Carmona, E. (2015). *Abundancia y distribución de Quercus macdougalii* (Fagaceae), especie endémica de la Sierra Juárez. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.
- Branco, M., Branco, C., Merouami, H., & Almeida, M. H. (2002). Germination success, survival and seedling vigor of *Quercus suber* acorns in relation to insect damage. *Forest Ecology and Management*, 166(1-3), 159-164. doi:10.1016/S0378-1127(01)00669-7
- Bonfil, C. (1998). The effects of seed size, cotyledon reserves and the herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany*, 85(1), 79-87.
- Bonner, F. T. (2003). Collection and care of acorns: A Practical Guide for Seed Collectors and Nursery Managers. Recuperado de <http://www.nsl.fs.fed.us/>.
- Clark-Tapia, R., Suárez-Mota, M. E., Matías-Nolasco, M., & Velasco-Hipólito, F. (2016). Clima: pasado, presente y futuro. En R. Clark-Tapia, M. F. Ramos-Morales, C. Alfonso-Corrado, M. M. Mendoza-Díaz, & M. Fuente-Carrasco (Eds.), *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca: caracterización, diagnóstico y gestión* (pp. 38-47). México: Universidad de la Sierra Juárez.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). *Prácticas de reforestación: Manual básico*. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx/>
- Dalling, J. W., & Hubbell, S. P. (2002). Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology*, 90(3), 557-568. doi: 10.1046/j.1365-2745.2002.00695.x



- Díaz-Fleischer, F., Hernández-Arellano, V., Sánchez-Velásquez, L., Cano-Medina, T., Cervantes-Alday, R., & López-Ortega, M. (2010). Investigación preliminar de la depredación de bellotas en la germinación de *Quercus candicans* Née. *Agrociencia*, 44(1), 83-92.
- Díaz-Pontones, D., & Reyes-Jaramillo, I. (2009). Producción y almacenamiento de bellotas de *Quercus hintoni* Warburg (Fagaceae), de la depresión del Balsas, México. *Polibotánica*, 27, 131-143.
- Gribko, L. S., & Jones, W. E. (1995). Test of the float method of assessing northern red oak acorn condition. *Tree Planter's Note*, 46(4), 143-147.
- Gribko, L. S., Schuler, T. M., & Ford, W. M. (2002). *Biotic and abiotic mechanisms in the establishment of northern red oak seedlings: A Review* (1a ed.). U.S.A. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station.
- Gómez, J. M., García, D., & Zamora, R. (2003). Impact of vertebrate acorn- and seedling- predators on a Mediterranean *Quercus pyrenaica* forest. *Forest Ecology and Management*, 180(1-3), 125-134. doi: 10.1016/s0378-1127(02)00608-4
- Guo, C. R., Lu, J. Q., Yang, D. Z., & Zhao, L. P. (2009). Impacts of burial and insect infection on germination and seedling growth of acorns of *Quercus variabilis*. *Forest Ecology and Management*, 258(7), 1497-1502. doi: 10.1016/2009-05.044
- Harper, J. L. (1977). *Population biology of plants* (1a ed.). Launders, Reino Unido: Academic Press.
- Kelly, D., & Sork, V. L. (2002). Mast seeding in perennial plants: why, how, where? *Annual Review of Ecology and Systematic*, 33(1), 427-447. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.33.020602.095433
- Leiva, M. J., & Fernández-Alés, R. (2005). Holm-oak (*Quercus ilex* subsp. ballota) acorns infestation by insects in Mediterranean dehesas and scrublands. Its effects on acorn germination and seedling emergence. *Forest Ecology and Management*, 212(1-3), 221-229. doi: 10.1016/j.foreco.2005.03036
- Leiva, M. J., & Díaz-Maqueda, A. (2016). Fast-growing seeds and delayed rodent predatory activity in the seeding season: A combined mechanism to escape and survive rodent predation in *Quercus ilex* subsp. ballota. L. acorns and seedlings. *Forest Ecology and Management*, 380(11), 23-30. doi: 10.1016/j.foreco.2016.08038
- Liu, Y., Liu, G., Li, Q., Liu, Y., Hou, L., & Li, G. L. (2012). Influence of pericarp, cotyledon and inhibitory substances on Sharp Tooth Oak (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*) germination. *PLoS One*, 7: e47682. doi: 10.1371/journal.pone.0047682
- Lombardo, J. A., & McCarthy, B. C. (2009). Seed germination and seedling vigor of weevil-damaged acorns of red oak. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(8), 1600-1605. doi: 10.1139/X09-079
- Martínez-Pérez, G., Orozco-Segovia, A., & Martorell, C. (2006). Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la mixteca alta oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 9-20.
- Montes-Hernández, B., & López-Barrera, F. (2013). Seedling establishment oak *Quercus insignis*: A critically endangered oak tree species in southern México. *Forest Ecology and Management*, 310(12), 927-934. doi: 10.1016/j.foreco.2013.09.044
- Morán-López, T., Forner, A., Flores-Rentería, D., Díaz, M., & Valladares, F. (2016). Some positive effects of the fragmentation of holm oak forests: Attenuation of water stress and enhancement of acorn production. *Forest Ecology and Management*, 370(5), 22-30. doi: 10.1016/j.foreco.2016.03.42
- Navarro, L., & Guitián, J. (2003). Seed germination and seedling survival of two threatened endemic species of the northwest Iberian Peninsula. *Biological Conservation*, 109(3), 313-320. doi: 10.106/S0006-3207(02)-00151-9
- Ntuli, T. M., Finch-Savage, W. E., Berjak, P., & Pammenter, N. W. (2011). Increased drying rate lowers the critical water content for survival in embryonic axes of English oak (*Quercus robur* L.) seeds. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(4), 270-280. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.01016x
- Pearse, I. S., Koeing, W. D., & Kelly, D. (2016). Mechanisms of mast seeding: resources, weather, cues, and selection. *New Phytologist*, 212(3), 546-562. doi: 10.1111/nph.1414
- Pérez-Ramos, I. M., Ourcival, J. M., Limousin, J. M. y Rambal, S. (2010). Mast seeding under increasing drought: results from a long-term data set and from a rainfall exclusion experiment. *Ecology*, 91(10), 3057-3068. doi: 10.1890/09-2313.1
- Primack, R. B. (2012). *A Primer of Conservation Biology* (5a ed.). Massachusetts, USA: Sinauer Associates, Inc. Publishers.
- Puerta-Piñero, C., Gómez, J. M., & Valladares, F. (2007). Irradiance and oak seedling survival and growth in a heterogeneous environment. *Forest Ecology and Management*, 242(2-3), 462-469. doi: 10.1016/j.foreco.2007.01.079
- Pulido, F. J. (2002). Biología reproductiva y conservación: el caso de la regeneración de bosques templados y subtropicales de robles (*Quercus* spp.) *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1), 5-15.
- Quero, J. L., Villar, R., Marañón, T., Zamora, R., & Poorter, L. (2007). Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American Journal of Botany*, 94(11), 1795-1803. doi: /10.3732/ajb.94.11.1795
- Robson, J. (2008). *Plan de manejo de la biodiversidad, Comunidad Santiago Comaltepec* (1ª ed.). Distrito de Ixtlán de Juárez, Oaxaca: Comunidad Santiago Comaltepec
- Rodríguez-Trejo, D. A., & Pompa-García, M. (2016). Tamaño, color de bellota y sombra afectan la germinación de *Quercus deserticola*. *Madera y Bosques*, 22(2), 67-75. doi: 10.21829/myb.2016.2221325
- Rubio-Licon, E. L., Romero-Rangel, S., Rojas-Zenteno, E. C., Durán-Díaz, A., & Gutiérrez-Guzmán, J. C. (2011). Variación del tamaño

- de bellotas y bellotas en siete especies de encinos (*Quercus*, Fagaceae). *Polibotánica*, 32, 135-151.
- Siscart, D., Diego, V., Lloret, F., & Bellot, J. (1999). Acorn Ecology. En F. Rodá, J. Retana, y C. A. Gracia (Eds.), *Ecology of Mediterranean oak forest: ecological studies* (pp.75-88). Berlin: Springer.
- Takahashi, A., Shibata, M., & Shimada, T. (2011). Variation in seed production schedule among individual trees of a deciduous oak species *Quercus serrata*: Its relation to seed characteristics. *Plant Ecology*, 212(9), 1527-1535. doi: 10.1007/s11258-011-9928-9
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN] (2010). *Lista Roja*. Recuperada de [www.iucn.org](http://www.iucn.org)
- Valencia-A., S. (2004). Diversidad del género *Quercus* en México. *Boletín de Sociedad Botánica de México*, 73, 33-63.
- Wang, Y., Zhang, J., La Montagne, J. M., Lin, F., Buhang, L., Ye, J., Yuan, Z., Wang, X., & Hao, Z. (2017). Variation and synchrony of tree species mast seeding in an old-growth temperate forest. *Journal of Vegetation Science*, 28(2), 413-423. doi: 10.1111/jvs.12494.
- Zavala-Chávez, F. (2004). Dsecación de bellotas y su relación con la viabilidad en nueve especies de encinos mexicanos. *Ciencia Ergo Sum*, 11(2), 177-185.
- Manuscrito recibido el: 22 de agosto de 2017
- Aceptado el: 6 de febrero de 2018
- Publicado el: 25 de septiembre de 2018
- Este documento se debe citar como:
- Clark-Tapia, R., Mendoza O., A., Aguirre-Hidalgo, V., Antúnez, P., Campos C., J. E., Valencia-A., S., Luna-Krauletz, M. D., & Alfonso-Corradó, C. (2018). Reproducción sexual de *Quercus macdougalii*, un encino endémico de la Sierra Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 24(2), e2421617. doi: 10.21829/myb.2018.2421617



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.