

DESCRIPCIÓN INICIAL DE LA FENOLOGÍA DE *Quercus durifolia* Seemen, ÁRBOL ENDÉMICO DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL

INITIAL DESCRIPTION OF THE PHENOLOGY OF *Quercus durifolia* Seemen, ENDEMIC TREE OF THE SIERRA MADRE OCCIDENTAL

**Madrid Aispuro, R.E., J.A. Prieto Ruíz, A. Aldrete, S. Salcido Ruiz, E.D. Vivar Vivar,
L.E. Martínez Nevárez**

DESCRIPCIÓN INICIAL DE LA FENOLOGÍA DE *Quercus durifolia* Seemen, ÁRBOL
ENDÉMICO DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL

INITIAL DESCRIPTION OF THE PHENOLOGY OF *Quercus durifolia* Seemen,
ENDEMIC TREE OF THE SIERRA MADRE OCCIDENTAL



Descripción inicial de la Fenología de *Quercus durifolia* Seemen, árbol endémico de la Sierra Madre Occidental

Initial description of the Phenology of *Quercus durifolia* Seemen, endemic tree of the Sierra Madre Occidental

Madrid Aispuro, R.E.,
J.A. Prieto Ruíz, A. Aldrete,
S. Salcido Ruiz,
E.D. Vivar Vivar,
L.E. Martínez Nevárez

DESCRIPCIÓN INICIAL DE
LA FENOLOGÍA DE *Quercus*
durifolia Seemen, ÁRBOL
ENDEMIC DE LA SIERRA
MADRE OCCIDENTAL

INITIAL DESCRIPTION OF
THE PHENOLOGY OF
Quercus durifolia Seemen,
ENDEMIC TREE OF THE
SIERRA MADRE
OCCIDENTAL


POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 229-244. Julio 2025

DOI:
10.18387/polibotanica.60.13

Rosa Elvira Madrid-Aispuro <https://orcid.org/0000-0001-8080-0689>

José Ángel Prieto-Ruíz / jprieto@ujed.mx 
<https://orcid.org/0000-0002-2954-535X>

Arnulfo Aldrete <https://orcid.org/0000-0002-6995-8490>

Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de postgraduados.
Campus Montecillo Carretera Federal México-Texcoco
Km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230, México

Silvia Salcido-Ruiz <https://orcid.org/0000-0001-9945-9732>

Eduardo Daniel Vivar-Vivar <https://orcid.org/0000-0002-2052-0404>

Laura Elena Martínez-Nevárez <http://orcid.org/0000-0001-6443-3305>

Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,
Universidad Juárez del estado de Durango. Río Papaloapan y Blvd. Durango S/N.
Col. Valle del Sur, C.P. 34120, Durango, Dgo., México

RESUMEN: Los estudios fenológicos han demostrado ser valiosos para comprender la dinámica de los ecosistemas y pueden desempeñar un papel crucial en la conservación de especies vegetales. En el caso de los encinos, son escasas las investigaciones que evalúan la fenología reproductiva y vegetativa, en particular sobre *Quercus durifolia* Seemen ex Loes., especie endémica que se distribuye principalmente en zonas de transición de la Sierra Madre Occidental. El objetivo fue describir los cambios biológicos que muestra esta especie, ante la variación estacional y climática en un periodo de nueve meses. Se seleccionaron al azar seis árboles adultos, en cada uno se marcaron seis ramas y se observó el avance fenológico cada 15 días. Lo anterior, se realizó con la toma de imágenes fotográficas, el registro y caracterización de cada cambio biológico; además, se monitoreó la temperatura y precipitación. Los resultados mostraron que *Quercus durifolia* tuvo seis fases fenológicas definidas durante el periodo de evaluación: defoliación, brotación, floración, fructificación, desarrollo de hojas y ramas, y dispersión de bellotas; dichas fases no se presentaron de manera homogénea en los árboles evaluados, donde solo 50 % produjeron bellotas. Este estudio resalta la complejidad y diversidad de los ciclos de vida de los encinos, incluso entre individuos de la misma especie y ubicación geográfica.

Palabras clave: crecimiento de bellotas, crecimiento vegetativo, cronobiología vegetal, encino, floración.

ABSTRACT: Phenological studies have proven to be valuable for understanding ecosystem dynamics and can play a crucial role in the conservation of plant species. In the case of oaks, there are few studies that evaluate reproductive and vegetative phenology, particularly on *Quercus durifolia* Seemen ex Loes., an endemic species that is mainly distributed in transition zones of the Sierra Madre Occidental. The objective was to describe the biological changes that this species shows, in response to seasonal and climatic variation over a nine-month period. Six adult trees were randomly selected, six branches were marked on each one and the phenological progress was observed every 15 days. The above was carried out by taking photographs, recording and characterizing each biological change, and monitoring temperature and precipitation. The results showed that *Quercus durifolia* had six defined phenological phases during the evaluation

period: defoliation, sprouting, flowering, fruiting, leaf and branch development, and acorn dispersion. It was also observed that these phases did not occur homogeneously in the evaluated trees, where only 50 % of the total produced acorns. This study highlights the complexity and diversity of the life cycles of oaks, even among individuals of the same species and geographic location.

Key words: acorn growth, vegetative growth, plant chronobiology, oak, flowering.

INTRODUCCIÓN

En México, los bosques de pino-encino tienen alta importancia ecológica para los ecosistemas templados debido a su alta diversidad y amplia distribución de especies (Méndez Osorio *et al.*, 2018). Los encinos son un componente que destacan en los ecosistemas forestales por la gran cantidad de funciones ecosistémicas que desempeñan, como la conservación del suelo y el agua, regulación del clima, provisión de alimento y hábitat a una amplia variedad de fauna silvestre; además, son especies adecuadas para recuperar sitios degradados (Sánchez-González, 2008). También, ocupan el segundo lugar nacional en aprovechamiento forestal, principalmente para la producción de carbón y la construcción de vivienda (Hernández Quiroz & Badano, 2017); sin embargo, se carece de programas integrales para su aprovechamiento.

La Sierra Madre Occidental posee una de las mayores riquezas de diversidad biológica, los bosques de encino cubren casi el 14 % de la superficie, y alberga 54 especies del género *Quercus* (34 % del total nacional) (González-Elizondo *et al.*, 2012). En los últimos 15 años se han realizado diversos estudios sobre la ecología de encinos, enfocados principalmente a investigar su diversidad, estructura, caracterización, distribución y composición florística (Aguilar-Romero *et al.*, 2016; Block & Meave, 2015; Bravo-Bolaños *et al.*, 2020; Encina-Domínguez *et al.*, 2011; Olvera-Vargas & Figueroa-Rangel, 2012; Rosalio Evaristo *et al.*, 2022; Rubio-Licona *et al.*, 2011; Ruiz-Aquino *et al.*, 2015; Sabás-Rosales *et al.*, 2015), pero existen otros campos del conocimiento pocos explorados, como su fenología.

La fenología de las plantas describe los periodos de aparición y duración de las diferentes etapas en el ciclo de vida, como brotación, floración, fructificación y foliación durante el año (Saveanu & Murray, 2014), procesos relacionados directamente con los factores ambientales, esenciales para entender las interacciones entre las plantas, los animales y el medio ambiente (Maldonado, 2011). La temporalidad y distribución de la floración y fructificación de las plantas son importantes, porque favorecen la biodiversidad, la disponibilidad de alimento para la fauna, la regeneración de la vegetación, la adaptación y la permanencia de las especies (Zárate Cuevas *et al.*, 2022).

Las especies arbóreas han implementado estrategias de adaptación a las variaciones climáticas a través del desarrollo de sus estructuras vegetativas y reproductivas (Zárate Cuevas *et al.*, 2022); por ejemplo, la temperatura, la irradiancia, la precipitación y el fotoperíodo son desencadenantes de la brotación en algunas especies de árboles, las cuales pueden variar dependiendo de las especies, provocando que se adelante o se atrase alguna fenofase (Tang *et al.*, 2016), como sucede en el género *Quercus*, sensible a las señales ambientales en los patrones fenológicos, como la formación de hojas, la floración y el crecimiento vegetativo (Gerst *et al.*, 2017); por ello, son considerados como un grupo altamente susceptible al cambio climático (Hernández Quiroz & Badano, 2017).

En encinos, la formación de frutos está relacionada con aves y mamíferos que se alimentan de ellos a través de las bellotas y las dispersan, por lo que es importante conocer el periodo que comprenden esta fase (Ramírez-Martínez & Mondragón Chaparro, 2020), debido a que la duración de la fructificación varía ampliamente entre especies y entre años (Gallinat *et al.*, 2018), es importante conocer con precisión cuándo existe suficiente disponibilidad de semillas en cantidad y calidad para su recolección, antes de que sean consumidas por la fauna silvestre, ya que aproximadamente el 99 % son depredadas (Díaz-Pontones & Reyes-Jaramillo, 2009). Lo anterior permite planificar de mejor manera su colecta para reproducirlas in vitro con el fin de

cubrir programas de restauración, reforestación y conservación forestal (Rivas Romero *et al.*, 2021).

El objetivo de la presente investigación fue describir la fenología inicial de *Quercus durifolia* Seemen ex Loes., especie que se distribuye principalmente en zonas de transición de la Sierra Madre Occidental. La generación de información en este ámbito contribuirá a la recolección oportuna de semilla, para su posterior propagación en viveros y así obtener plantas de calidad para programas de reforestación y restauración forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el ejido Otinapa, municipio de Durango, Durango, México, en las coordenadas 24°03'27" N y 105°00'54" O, a una altitud de 2.397 m. La vegetación que predomina está compuesta por especies del género *Pinus* (*P. engelmannii* Carr., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. cooperi* C.E. Blanco y *P. teocote* Schltdl. & Cham.), *Quercus* sp., *Juniperus* sp., así como *Arbutus* sp. (González-Elizondo *et al.*, 2012); el sitio se ubica en medio de un bosque de transición de zonas semiáridas a un bosque de clima templado (Figura 1).

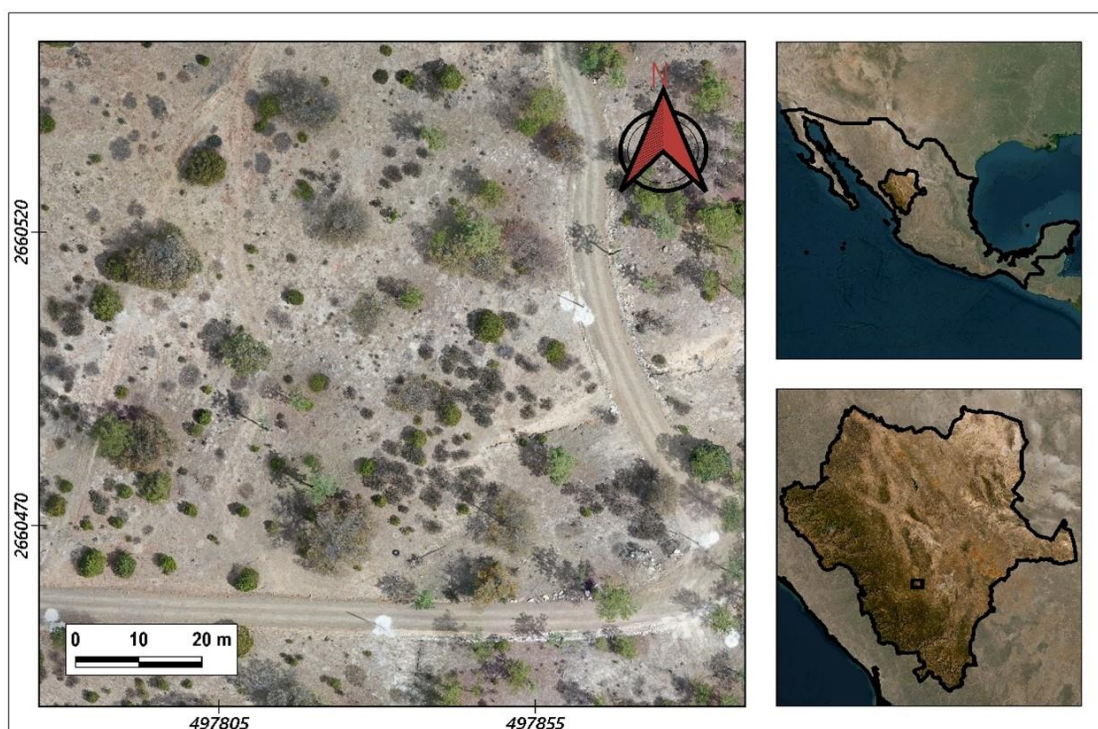


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Figure 1. Geographical location of the study area.

El clima es marcadamente estacional, con una estación fría que comprende los meses de octubre a marzo, y una estación calurosa de abril a septiembre, con un período con precipitación baja o escasa de diciembre a junio; la temporada de lluvias ocurre entre julio y septiembre, y en ocasiones se alarga hasta noviembre, con su pico máximo en julio. Para el presente estudio los

datos de temperatura y precipitación, correspondiente al período 2010 a 2023, fueron obtenidos de la página web Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>) y extraídos a una resolución de 0.5° de la base de datos CRU TS v. 4.04.

Selección de árboles monitoreados

En un rodal natural se seleccionaron al azar seis árboles de *Quercus durifolia*, buscando que existiera una distancia mínima de 50 m entre sí; los mismos se numeraron del uno al seis, a cada uno se les escogieron seis ramas con presencia de yemas, ubicadas entre la parte media y baja de la copa, por la facilidad del seguimiento del proceso fenológico y considerando que los encinos tienen estructuras reproductivas en toda la copa del árbol (Figura 2). En promedio, los árboles tenían una altura de 12.5 m y un diámetro a la altura del pecho de 36.3 cm.

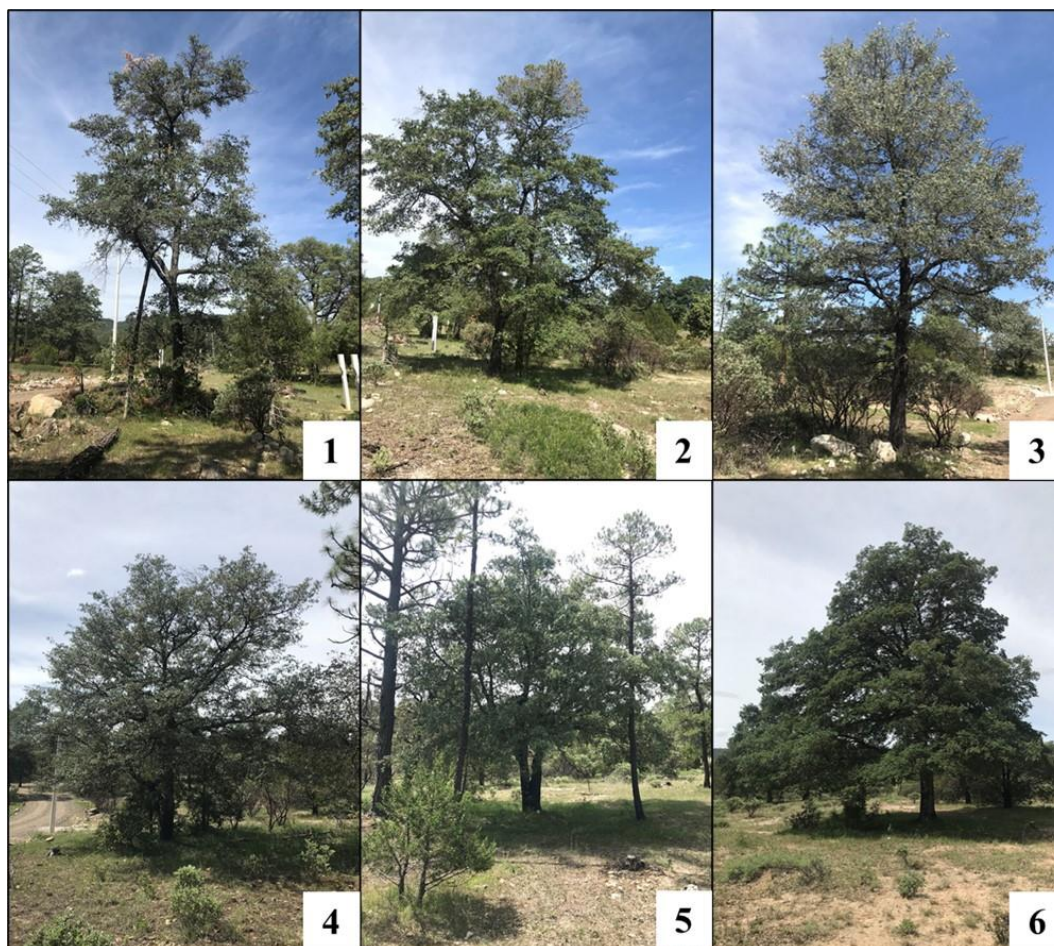


Figura 2. Ejemplares de *Quercus durifolia* donde se hicieron las observaciones fenológicas.
Figure 2. Specimens of *Quercus durifolia* where phenological observations were made.

Las observaciones del estadio fenológico se realizaron cada 15 días, a partir de la visualización de las estructuras reproductivas en las yemas (inicio de la floración), las observaciones se hicieron cada cinco días hasta que las estructuras femeninas dejaron de recibir polen e inició el crecimiento de la bellota; lo anterior, se realizó mediante observaciones directas y toma de imágenes fotográficas; esto permitió que de cada árbol se pudiera determinar: periodo de caída de hojas, de

brotación y de floración masculina y femenina, fecha de inicio y desarrollo de bellotas, tiempo durante el cual ocurrió el crecimiento de las hojas y ramas, y período de aparición de nuevas yemas y de dispersión de bellotas.

El trabajo se realizó mediante una descripción de las etapas fenológicas señalando el tiempo de inicio y el final de cada fenofase de los árboles monitoreados; además, se realizó una comparación del desarrollo de las fenofases con relación a los elementos climáticos a través del tiempo (Mejía Gutiérrez, 1990). El periodo de seguimiento se hizo de marzo a noviembre de 2023. Debido a que este trabajo fue descriptivo, solo se registraron observaciones directas en forma periódica, mediante imágenes y registro de los tiempos en que ocurrió cada fenofase; además, se cuidó que el registro de la información fuera representativo de la especie evaluada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calendario fenológico

Durante el periodo 2010 a 2023, el promedio en la precipitación anual fue 616 mm, siendo el año 2011 el de menor precipitación (251 mm) y 2021 el que tuvo la mayor cantidad de lluvia (839 mm); la temperatura promedio máxima fue 32.2 °C y la mínima -6.4 °C (Figura 3a). Durante el periodo de observaciones fenológicas (marzo a noviembre de 2023) el promedio anual de precipitación fue 408 mm, la temperatura media 18.0 °C, la mínima promedio 4.2 °C y la máxima promedio 31.0 °C (Figura 3b).

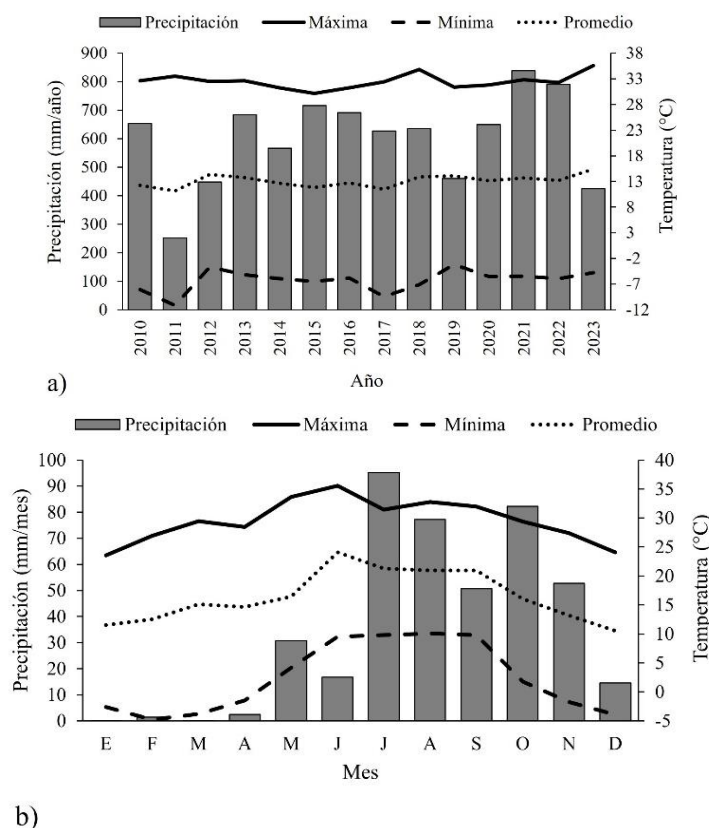


Figura 3. Temperatura y precipitación anual promedio registradas en el área de estudio: a) en un período de más de 10 años; b) durante el período de estudio.

Figure 3. Average annual temperature and precipitation recorded in the study area: a) over a period of more than 10 years; b) during the study period.

La caída de hojas ocurrió en los meses de marzo y abril, quedando los árboles totalmente defoliados, donde las condiciones promedio de temperatura máxima fueron de 28.9 °C, de temperatura media de 14.9 °C y de temperatura mínima de -2.7 °C, con una precipitación de 2.53 mm. El inicio de la brotación ocurrió en los meses de abril y mayo, con temperatura máxima promedio de 30.0 °C, de temperatura mínima de 4.5 °C y precipitación de 33.2 mm. También, en los mismos meses se presentó la fase fenológica de floración masculina, en tanto que la floración femenina solo ocurrió en el mes de mayo. El inicio y desarrollo de las bellotas ocurrió en los meses de junio a septiembre con condiciones promedio de temperatura máxima de 32.3 °C, de temperatura mínima de 10.0 °C y con una precipitación de 322 mm; en este mismo período se presentó la fase fenológica de crecimiento de hojas y ramas. La dispersión de bellotas ocurrió entre finales de septiembre y durante el mes de octubre, cuando las temperaturas empezaron a descender (1.0 °C); con esas mismas condiciones comenzaron a producirse yemas indicando el cese de crecimiento (Figura 4).

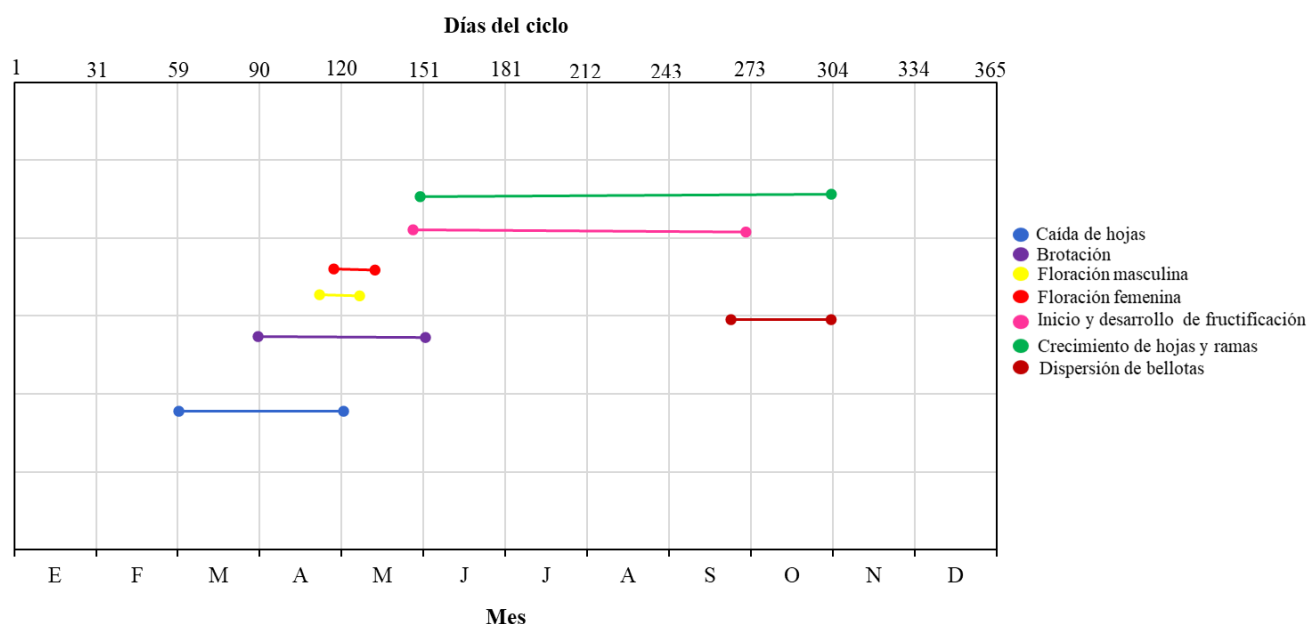


Figura 4. Calendario fenológico de *Quercus durifolia* en Otinapa, Durango, México en 2023.
Figure 4. Phenological calendar of *Quercus durifolia* in Otinapa, Durango, México in 2023.

Los factores ambientales como la temperatura, la luz y la humedad influyen en la floración, ya sea acelerándola o retrasándola (Pérez López *et al.*, 2013). Por ejemplo, las temperaturas bajas pueden inhibir la floración o ralentizar el desarrollo de los granos de polen (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2000). En ese sentido, Gerst *et al.* (2017) mencionan que las temperaturas máximas de primavera influyeron en el inicio de las fenofases de brotación y floración de *Q. alba* L. y *Q. rubra* L., mientras que en *Q. agrifolia* Née y *Q. lobata* Née influyeron las temperaturas mínimas. La duración de cada fenofase puede variar entre las mismas especies a lo largo de temporadas de crecimiento, como sucedió en este estudio.

Descripción de cada fase fenológica

Caída de hojas

El periodo de esta etapa fenológica comprendió de marzo a abril; al inicio del mismo los árboles aún conservaban sus hojas con un tono verde amarillento, las ramillas presentaban yemas mixtas,

yemas axilares (entre las hojas) y terminales (al final de la rama); sin embargo, para el mes de abril las hojas adquirieron un color amarillo-café y se desprendieron por completo en 50 % de los árboles monitoreados (Figura 5).

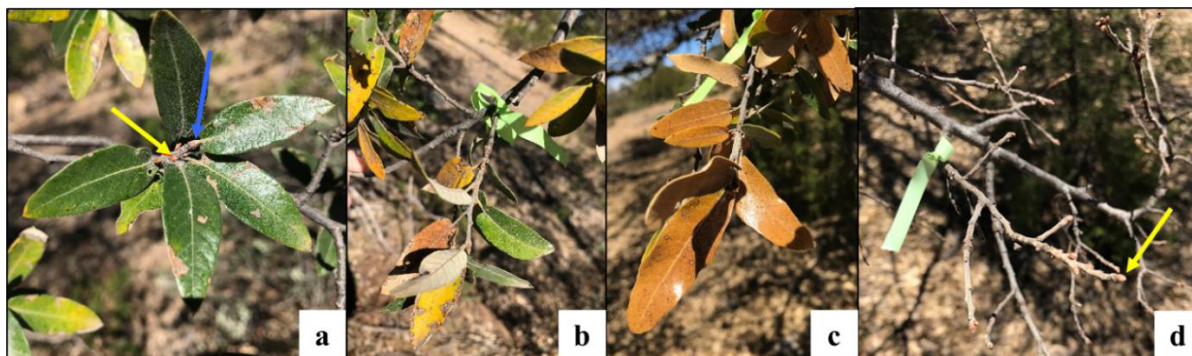


Figura 5. a) hojas de color verde oscuro con presencia de yemas axilares (flecha amarilla) y yema terminal (flecha azul), b) hojas amarillentas, c) hojas de color café y, d) ramas sin hojas con presencia de yemas vegetativas más grandes (flecha amarilla).

Figure 5. a) dark green leaves with the presence of axillary buds (red arrow) and terminal bud (blue arrow), b) yellowish leaves, c) brown leaves and, d) leafless branches with the presence of larger vegetative buds (yellow arrow).

A pesar de que todos los árboles pertenecían a la misma especie y se encontraban en áreas cercanas, la variabilidad fue significativa en la temporalidad y secuencia del desprendimiento de hojas. Este proceso comenzó a finales de marzo, primero en los árboles que florecieron y, posteriormente, en aquellos que solo generaron brotes (Figura 6).

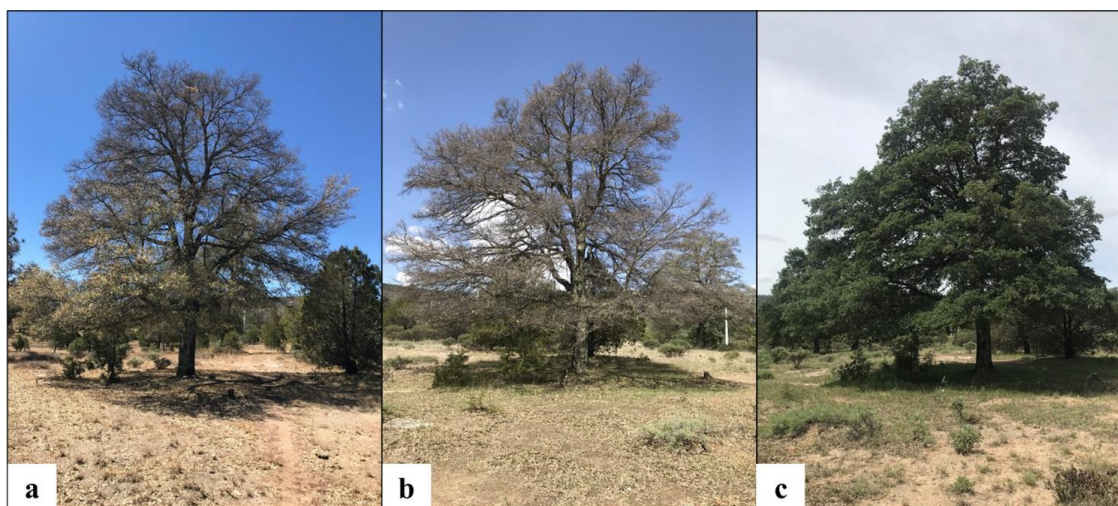


Figura 6. Árbol de *Quercus durifolia* en diferente época del año. a) árbol con hojas maduras y envejecidas en tono amarillo-café (marzo-abril), b) árbol sin hojas (abril-mayo) y c) árbol cubierto con hojas nuevas (junio-julio).

Figure 6. *Quercus durifolia* tree at different times of the year. a) tree with mature and aged yellow-brown leaves (March-April), b) tree without leaves (April-May) and c) tree covered with new leaves (June-July).

Brotación

Esta etapa fenológica se observó de abril a mayo; después de la caída de hojas las yemas quedaron expuestas y presentaron un mayor crecimiento, Meger *et al.* (2024) mencionan que en *Quercus robur* el momento de la brotación está fuertemente relacionado con los regímenes de temperatura. Además, las yemas eran mixtas ya que dieron origen a hojas y a flores de manera conjunta o por separado. Aunado a esto, solo 50 % de los árboles florecieron y el resto solo exhibió crecimiento de brotes; en el primer caso, existió una coincidencia temporal entre el desprendimiento de las hojas y la floración, lo que sugiere una interacción estrecha entre ambos procesos; en particular, típicamente en las especies anemófilas, la floración ocurre antes de la foliación, de modo que el follaje no interfiere en la polinización (Cortés-Flores *et al.*, 2011). En contraste, en el segundo caso, el brote de hojas nuevas tuvo lugar una vez que los árboles se encontraban completamente desprovisto de follaje, donde se observó que la pérdida de hojas se extendió hasta finales de mayo, teniendo un proceso de brotación más lento, caracterizado por la aparición de nuevas hojas únicamente en las yemas terminales, con 4 a 10 hojas, de color verde claro, tanto en la superficie adaxial como abaxial, con color rosado en el borde (Figura 7).

En el caso de los árboles que florecieron, durante esta etapa, las yemas comenzaron a abrirse para generando flores masculinas y nuevos brotes de hojas, que presentaban un tono verde claro en la superficie adaxial y un tono grisáceo en la superficie abaxial con los bordes rosados y blandas al tacto, en todas las ramas del árbol. Para mayo, ya se habían formado las nuevas ramillas con hojas en crecimiento, algunas con hasta 12 hojas; además, se observó un crecimiento simultáneo de hojas y flores. Algunas ramas emitidas de las yemas terminales tuvieron un considerable crecimiento, llegando a generar hasta 21 hojas (Figura 7).



Figura 7. Brotación de ramas: a) ramas con yemas axilares y terminal, b) yema terminal en desarrollo hinchada, c) apertura de yema terminal, d) inicio de despliegue de hojas, e) despliegue de hojas.

Figure 7. Sprouting of branches: a) branches with axillary and terminal buds, b) swollen terminal bud in development, c) opening of terminal bud, d) beginning of leaf unfolding, e) leaf unfolding.

Crecimiento de hojas y ramas

Esta etapa fenológica comprendió un periodo de cinco meses (junio-octubre), el crecimiento se limitó principalmente a las hojas, con la aparición de algunas ramas que aún no habían madurado completamente. Las ramas crecieron entre 2 y 26 cm de largo, portando entre 5 y 21 hojas de 4 a 5.5 cm de largo. En julio y agosto se produjo el crecimiento mayor, en las hojas el color verde se intensificó a un tono más oscuro en la superficie adaxial y la superficie abaxial se puso blanquecino. Dichos meses coinciden con el valor más alto de precipitación (Figura 3b), aumentando la disponibilidad de recursos, lo que asegura grandes cantidades de fotosintatos disponibles para, a su vez, generar tejido fotosintético (García-Barreda *et al.*, 2021). Después de estos meses no se registró un aumento significativo en su tamaño, sólo se intensificó el color verde en la superficie adaxial de las hojas, mientras que el color grisáceo continuó en la superficie abaxial y estaban duras al tacto. Finalmente, en septiembre y octubre, todas las ramas nuevas presentaban yemas axilares y terminales más pronunciadas de 2 a 4 mm, indicando el cese del crecimiento (Figura 8).

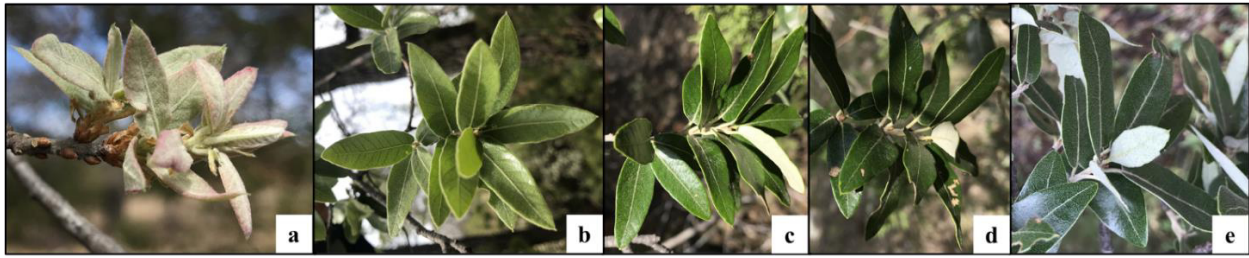


Figura 8. Crecimiento y desarrollo de hojas con tonalidades desde verde opaco a verde oscuro: a) 2.5 GY 5/4, b) 5 GY 6/6, c) 5 GY 4/8, d) 7.5 GY 5/2 y, e) superficie abaxial (2.5G 7/8) y superficie adaxial (7.5 GY 8/2), de acuerdo al Sistema de notación Munsell.

Figure 8. Growth and development of leaves with shades from light green to dark green: a) 2.5 GY 5/4, b) 5 GY 6/6, c) 5 GY 4/8, d) 7.5 GY 5/2 and, e) abaxial surface (2.5G 7/8) and adaxial surface (7.5 GY 8/2), according to the Munsell notation system.

Un estudio en varias especies arbóreas reporta que la temperatura está fuertemente correlacionada con la fecha de inicio de la brotación (Basler & Körner, 2012). En *Quercus robur* se encontró que la relación entre la temperatura primaveral y las primeras hojas fue significativa (Askeyev *et al.*, 2005). Asimismo, Gerst *et al.* (2017) indican que el inicio de las hojas y la floración en cuatro especies de *Quercus* se produce antes en los últimos años, aparentemente en respuesta a temperaturas más altas en invierno y primavera. Entre individuos de una misma población de *Quercus* se encontraron diferencias en las fechas de comienzo de la brotación y floración (Chesnoiu *et al.*, 2009); en este caso algunos árboles brotaron al inicio de la primavera, mientras que otros lo hicieron en el verano. Bertin (2008) menciona que la aparición de hojas y la floración en los encinos se llega adelantar varias semanas, debido a las altas temperaturas en primavera.

Floración

Los encinos son árboles monoicos, producen flores masculinas en amentos, encargadas de la producción de polen y las femeninas emergen en brotes axilares en las hojas de la nueva rama. El desarrollo floral masculino y femenino siguió patrones similares en 50 % de los árboles monitoreados. Esta etapa fenológica ocurrió a finales del mes de abril y principios de mayo, inició cuando se cayeron las hojas de los árboles, quedando las yemas cerradas y expuestas, no pudiendo diferenciarse de las reproductivas. El desarrollo de flores y ramas ocurrió de manera simultánea; durante este proceso los árboles se cubrieron primero de flores masculinas y ramillas jóvenes. La floración tuvo un inicio muy incipiente en cada árbol, extendiéndose después a toda la copa. De las mismas yemas múltiples brotaron tanto flores masculinas como hojas, siendo común que la mayoría de las yemas primero produjeran las flores y luego la rama, aunque en algunos casos se presentaron exclusivamente flores o ramas. La floración masculina duró aproximadamente 15 días, período en el cual las flores liberaron polen (dehiscencia de las anteras), mientras que la floración femenina duró tres semanas. Las yemas reproductivas masculinas desarrollaron de dos a seis amentos. Hacia finales de mayo las flores comenzaron a marchitarse después de la liberación de polen, cambiando de color amarillo claro a un tono más blanco, señalando el final de la etapa de floración. Mientras las flores masculinas emergían directamente de las yemas, las femeninas se desarrollaban entre el crecimiento de las nuevas hojas, haciéndose evidentes una vez que estaban fecundadas (mes de mayo) (Figura 9).

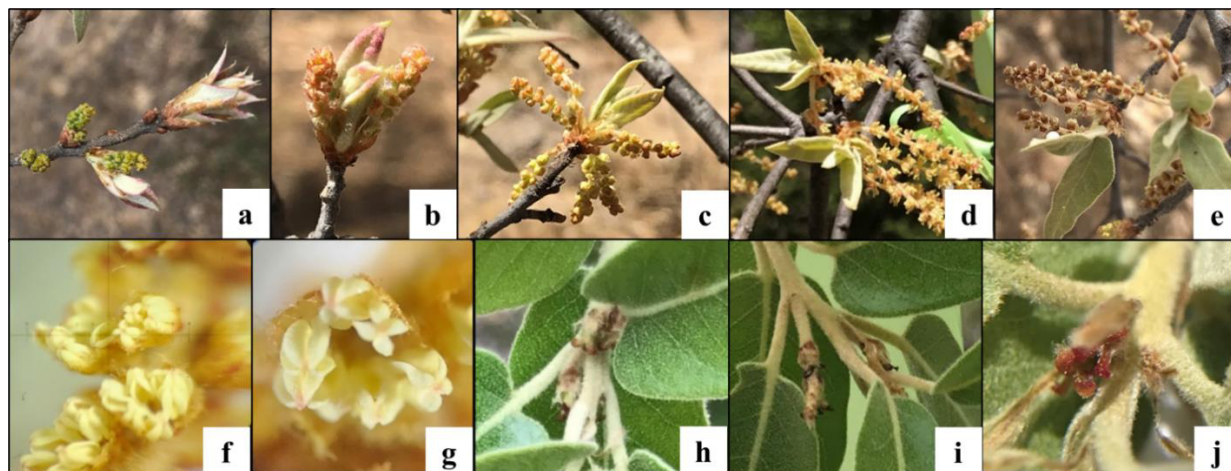


Figura 9. Floración: a) amentos iniciando el desarrollo, b y c) amentos en sucesivos estadios de crecimiento, con las anteras aún no dehiscentes, d) dispersión del polen (dehiscencia de anteras), e) marchitamiento de los amentos (amentito marchito y seco, previamente a la abscisión), f) detalle de flores masculinas con algunas anteras cerradas y otras abiertas, g) flores masculinas con todas las anteras abiertas, h) flores femeninas receptoras en las axilas de nuevas ramillas, i) flor femenina con ovario fecundado y estigmas marchitos (secos y de color negruzco) y, j) flor femenina con estigmas receptoras, turgentes y rojizos.

Figure 9. Flowering: a) catkins beginning to develop, b and c) catkins in successive stages of growth, with the anthers not yet dehiscent, d) pollen dispersion (anther dehiscence), e) wilting of the catkins (withered and dry catkin, prior to abscission), f) detail of male flowers with some anthers closed and others open, g) male flowers with all anthers open, h) receptive female flowers in the axils of new twigs, i) female flower with fertilized ovary and withered stigmas (dry and blackish), and j) female flower with receptive, turgid and reddish stigmas.

La floración se produjo en época de escasa precipitación y aumento de la temperatura en el área de estudio. En este período los brotes de las hojas son pequeños; por lo tanto, la polinización se beneficia debido a que ocurre mediante el viento, favoreciéndose durante estos meses (Coombes, 2020). Cortés-Flores *et al.* (2011) reportaron periodos de un mes de floración en especies como *Quercus candicans* Née, *Q. castanea* Née, *Q. crassipes* Bonpl., *Q. obtusata* Bonpl., y *Q. rugosa* Née. El inicio del periodo de floración está ligado al desarrollo de brotes vegetativos, es decir, el retraso o adelanto en la brotación conlleva un retraso o adelanto en la floración (Bogdziewicz *et al.*, 2020). En este caso, aunque existió una abundante cantidad inicial de flores masculinas, no necesariamente existió una alta producción de semilla. Gómez-Casero *et al.* (2004) mencionan que las condiciones climáticas del invierno y primavera influyen en la dehiscencia y la densidad de las flores, también en la cantidad de polen producido. También, Schermer *et al.* (2020) indican que temperaturas altas en primavera favorecen la sincronización fenológica entre árboles; es decir, se reduce el período de floración, lo que a su vez aumenta el éxito de la polinización por la cantidad de polen en el aire que puede movilizarse y las flores femeninas reciban el polen y sean fecundadas, produciéndose las bellotas.

Fructificación y dispersión de bellotas

La fructificación ocurrió a finales de mayo y el tamaño mayor de los frutos se alcanzó en el mes de julio y agosto, coincidiendo con los meses más cálidos (Figura 3b) y el desarrollo de la temporada de lluvias. La producción de bellotas puede variar año tras año, fenómeno conocido como masting (Coombes, 2020): los encinos producen muchas semillas cada dos años o más de manera sincronizada con otros árboles; este patrón de fructificación alternado puede tener implicaciones importantes para la ecología del bosque y para las comunidades de animales que dependen de los encinos como fuente de alimento.

De los seis árboles monitoreados, sólo la mitad produjo bellotas, de los cuales uno tuvo una producción escasa. El principio de la formación de las bellotas indicó que a finales del mes de mayo había tenido lugar la fecundación de las flores femeninas; para el mes de junio las bellotas ya tenían la forma redonda, entre 3 y 5 mm de longitud (Figura 10). En julio, la nuez comenzó a emerger de la cúpula, y durante agosto y septiembre ocurrió un crecimiento tanto en el diámetro como en la longitud de la cúpula y la nuez; en ese periodo, aproximadamente el 50 % de la nuez ya se encontraba fuera de la cúpula (Figura 10). Para el mes de octubre las bellotas alcanzaron 1.5 a 2 cm de longitud, con 0.81 cm de diámetro, llegando a su madurez, indicada por el cambio de tonalidad de verde a café, tanto en la cúpula como en la nuez; además, la nuez se desprendía de la cúpula con facilidad, iniciando su liberación, facilitada por el movimiento de las ramas debido a la acción del viento. La fecha de inicio de la caída de la bellota ocurrió al mismo tiempo en los tres árboles evaluados que produjeron bellotas.

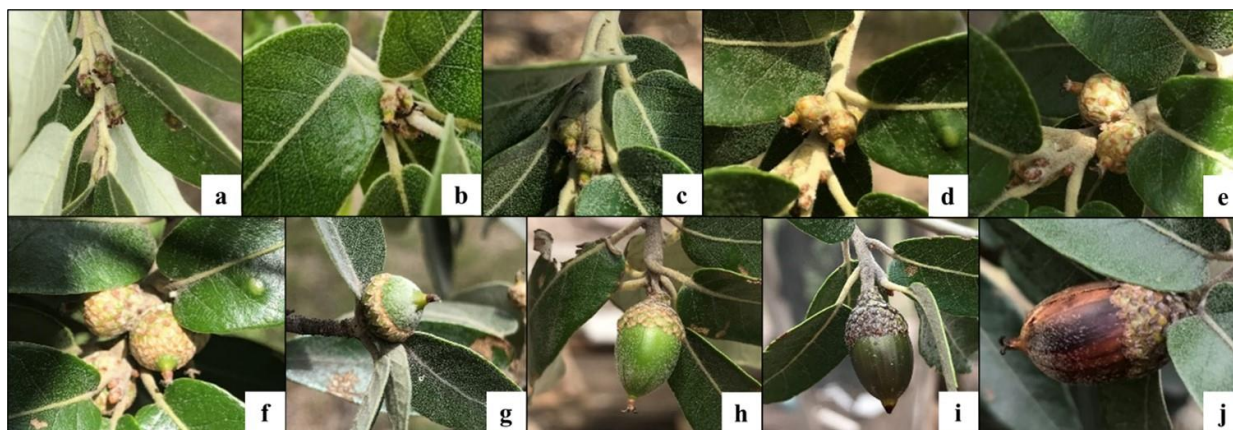


Figura 10. Proceso de crecimiento de la bellota: a) flor femenina fecundada, b y c) ovario en desarrollo de color verde, d y e) pequeña cúpula escamosa redondeada con ovario en color café, f) nuez emergiendo de la cúpula, g) longitud de la bellota igual a la longitud de la cúpula, h) longitud de la bellota mayor a la longitud de la cúpula, aún verde, i) bellota a punto de madurar, tono verde-café y, j) bellota madura, color café.

Figure 10. Acorn growth process: a) fertilized female flower, b and c) developing green ovary, d and e) small rounded scaly dome with brown ovary, f) nut emerging from the dome, g) acorn length equal to dome length, h) acorn length greater than dome length, still green, i) acorn about to mature, green-brown tone, and j) mature acorn, brown color.

Un aspecto a destacar es que, pese a que los árboles estuvieron cubiertos con flores masculinas, la producción de bellotas fue notablemente escasa. Se han reportado pérdidas previas a la dispersión debido al aborto causado por condiciones climáticas desfavorables durante la etapa de floración y desarrollo de bellotas (Díaz-Fernández *et al.*, 2004). La producción de bellotas se correlaciona con la lluvia o la temperatura en primavera (Bogdziewicz *et al.*, 2017a); por lo tanto, en gran parte el aborto de bellotas se debe a la escasez de agua. Gręda *et al.* (2022) mencionaron el aborto de bellotas en *Q. rubra* L., debido a eventos climáticos extremos que inhibieron la reproducción. Otro factor adverso que influye es el consumo de bellotas por insectos, aves y especialmente roedores antes de desprenderse del árbol (Aguilar-Peralta *et al.*, 2016). En el área se observaron algunos pájaros carpinteros y ardillas, quienes pudieron haber consumido las bellotas previo a su liberación de los árboles, en general se observó una baja producción de bellotas en los encinos cercanos al área de estudio.

Otra causa del déficit de bellotas es el consumo de las flores femeninas por orugas de lepidópteros, lo cual tiene un impacto directo y significativo en la producción de frutos (Pulido, 2002). La pérdida de flores femeninas de *Quercus suber* L. durante el verano fue atribuido a una intensa sequía (Díaz-Fernández *et al.*, 2004). La floración temprana en las especies de encinos de

zonas templadas da como resultado que normalmente se libere polen durante condiciones climáticas desfavorables y, con frecuencia, resulta en fallas reproductivas (Schermer *et al.*, 2020). Sin embargo, la capacidad de fructificación entre especies del género *Quercus* es variable, independientemente de las condiciones ambientales (Díaz-Pontones & Reyes-Jaramillo, 2009). Según Coombes (2020), la variación anual en la producción de bellotas, de manera sincronizada y masiva cada dos años, se debe a que el polen es escaso en los intervalos bianuales; en contrapartida, se considera una estrategia reproductiva común en poblaciones de encino, debido a que producen más semillas de las que pueden ser consumidas por los depredadores (Cortés-Flores *et al.*, 2011), como se ha registrado en *Quercus ilex* L. (Bogdziewicz *et al.*, 2017b). Incluso existen marcadas variaciones en la producción de bellotas entre individuos dentro del mismo año, las cuales oscilan entre 0.5 y 150 kg/árbol (García-Mozo *et al.*, 2007). *Quercus robur* L. mostró fluctuaciones anuales, tendiendo a alternarse años de mayor producción con años de baja producción (Askeyev *et al.*, 2005). Al parecer este comportamiento está asociado con la variación anual en las condiciones climáticas y la capacidad de los árboles para almacenar recursos después de la última producción de bellotas (García-Mozo *et al.*, 2007).

García-Barreda *et al.* (2021) menciona tres hipótesis que vinculan el clima y las reservas almacenadas con la producción de bellotas; la primera es que la alta producción de bellotas ocurre en los años en que existen más recursos disponibles, prediciendo así una relación positiva entre reproducción y crecimiento. La segunda es que la producción de bellotas no puede ocurrir todos los años porque la reproducción es costosa y el árbol debe acumular recursos más allá de un cierto umbral, con grandes esfuerzos reproductivos que agotan las reservas. Y la tercera es que un árbol invierte una cantidad relativamente constante de recursos del año en curso en crecimiento o reproducción, prediciendo así compensaciones de asignación entre reproducción y crecimiento. El comportamiento fenológico varía de un año a otro, ya que las condiciones climáticas varían (Gómez-Casero *et al.*, 2007); por lo tanto, las observaciones fenológicas deben llevarse a cabo a lo largo de varios años, con el fin de obtener una visión general del comportamiento de este fenómeno.

CONCLUSIONES

Quercus durifolia tuvo fases fenológicas definidas durante el periodo de evaluación (nueve meses), pese a que existieron diferencias entre los individuos evaluados. La defoliación comenzó a finales de marzo, primero en los árboles que florecieron y, posteriormente, en aquellos que solo generaron brotes. El crecimiento vegetativo se inició durante la época seca del año (abril y mayo). Las yemas dieron origen a ramas y flores de manera simultánea, y en algunos casos solo generaron ramas o flores. El 50 % de los árboles monitoreados produjeron bellotas, las cuales se desarrollaron de mayo a septiembre y culminaron su dispersión en octubre. Futuros estudios deberían abordar variaciones interanuales, en el contexto del cambio climático y de las variaciones típicas periódicas en este género.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada al primer autor, derivada de la convocatoria “Estancias Posdoctorales por México 2022 (3)”. A la Dra. María del Socorro González Elizondo del CIIDIR-IPN unidad Durango, por el apoyo en la identificación de *Quercus durifolia* Seemen ex Loes.

LITERATURA CITADA

- 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, 1–9.
- Aguilar-Romero, R., García-Oliva, F., Pineda-García, F., Torres, I., Peña-Vega, E., Ghilardi, A., & Oyama, K. (2016). Patterns of distribution of nine *Quercus* species along an environmental gradient in a fragmented landscape in central Mexico. *Botanical Sciences*, 94(3), 471–482. <https://doi.org/10.17129/botsci.620>
- Askeyev, O. V., Tischin, D., Sparks, T. H., & Askeyev, I. V. (2005). The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the middle Volga region, Tatarstan, Russia. *International Journal of Biometeorology*, 49(4), 262–266. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0233-3>
- Basler, D., & Körner, C. (2012). Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 165, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.06.001>
- Bertin, R. I. (2008). Plant phenology and distribution in relation to recent climate change. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 135(1), 126–146. <https://doi.org/10.3159/07-RP-035R.1>
- Block, S., & Meave, J. A. (2015). Structure and diversity of oak forests in the El Tepozteco National Park (Morelos, Mexico). *Botanical Sciences*, 93(3), 429–460. <https://doi.org/10.17129/botsci.150>
- Bogdziewicz, M., Fernández-Martínez, M., Bonal, R., Belmonte, J., & Espelta, J. M. (2017). The Moran effect and environmental vetoes: phenological synchrony and drought drive seed production in a Mediterranean oak. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1866), 20171784. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1784>
- Bogdziewicz, M., Szymkowiak, J., Bonal, R., Hacket-Pain, A., Espelta, J. M., Pesendorfer, M., Grewling, L., Kasprzyk, I., Belmonte, J., Kluska, K., De Linares, C., Penuelas, J., & Fernandez-Martinez, M. (2020). What drives phenological synchrony? Warm springs advance and desynchronize flowering in oaks. *Agricultural and Forest Meteorology*, 294, 108140. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108140>
- Bogdziewicz, M., Szymkowiak, J., Kasprzyk, I., Grewling, Ł., Borowski, Z., Borycka, K., Kantorowicz, W., Myszkowska, D., Piotrowicz, K., Ziemianin, M., & Pesendorfer, M. B. (2017). Masting in wind-pollinated trees: system-specific roles of weather and pollination dynamics in driving seed production. *Ecology*, 98(10), 2615–2625. <https://doi.org/10.1002/ecy.1951>
- Bravo-Bolaños, O., López-García, J., & Sánchez-González, A. (2020). Estructura y composición florística de los bosques de *Quercus* del Volcán Sanganguey, Nayarit, México. *Botanical Sciences*, 98(3), 441–452. <https://doi.org/10.17129/botsci.2490>
- Chesnoiu, E. M., Sofletea, N., Curtu, A. L., Toader, A., Radu, R., & Enescu, M. (2009). Bud burst and flowering phenology in a mixed oak forest from Eastern Romania. *Annals of Forest Research*, 52, 199–206.
- Coombes, A. J. (2020). Colecta y almacenamiento de bellotas. Aspectos claves. . In *Manual para la propagación de Quercus: una guía fácil y rápida para cultivar encinos en México y América Central*. (1st ed., pp. 21–27). Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Cortés-Flores, J., Cornejo-Tenorio, G., & Ibarra-Manríquez, G. (2011). Fenología reproductiva de las especies arbóreas de un bosque neotropical. *Interciencia*, 36(8), 608–613.
- Díaz-Fernández, P. M., Climent, J., & Gil, L. (2004). Biennial acorn maturation and its relationship with flowering phenology in Iberian populations of *Quercus suber*. *Trees*, 18(6), 615–621. <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0325-z>
- Díaz-Pontones, D., & Reyes-Jaramillo, I. (2009). Producción y almacenamiento de bellotas de *Quercus hintonii* Warburg (Fagaceae) de la Depresión del Balsas, México. *Polibotánica*, 27, 131–143.

- Encina-Domínguez, J. A., Mata Rocha, E., Meave, J. A., & Zárate-Lupercio, A. (2011). Community structure and floristic composition of *Quercus fusiformis* and *Carya illinoensis* forests of the Northeastern Coastal Plain, Coahuila, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(2), 607–622. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.2.466>
- Gallinat, A. S., Primack, R. B., Willis, C. G., Nordt, B., Stevens, A., Fahey, R., Whittemore, A. T., Du, Y., & Panchen, Z. A. (2018). Patterns and predictors of fleshy fruit phenology at five international botanical gardens. *American Journal of Botany*, 105(11), 1824–1834. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1189>
- García-Barreda, S., Sangüesa-Barreda, G., Madrigal-González, J., Seijo, F., González de Andrés, E., & Camarero, J. J. (2021). Reproductive phenology determines the linkages between radial growth, fruit production and climate in four Mediterranean tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108493. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108493>
- García-Mozo, H., Gómez-Casero, M. T., Domínguez, E., & Galán, C. (2007). Influence of pollen emission and weather-related factors on variations in holm-oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) acorn production. *Environmental and Experimental Botany*, 61(1), 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.02.009>
- Gerst, K. L., Rossington, N. L., & Mazer, S. J. (2017). Phenological responsiveness to climate differs among four species of *Quercus* in North America. *Journal of Ecology*, 105(6), 1610–1622. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12774>
- Gómez-Casero, M. T., Galán, C., & Domínguez-Vilches, E. (2007). Flowering phenology of Mediterranean *Quercus* species in different locations (Córdoba, SW Iberian Peninsula). *Acta Botanica Malacitana*, 32, 127–146. <https://doi.org/10.24310/abm.v32i0.7033>
- Gómez-Casero, M. T., Hidalgo, P. J., García-Mozo, H., Domínguez, E., & Galán, C. (2004). Pollen biology in four Mediterranean *Quercus* species. *Grana*, 43(1), 22–30. <https://doi.org/10.1080/00173130410018957>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botanica Mexicana*, 100, 351–403. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>
- Gręda, A., Woziwoda, B., Dyderski, M. K., Jagodziński, A. M., & Frelich, L. E. (2022). Acorn production of introduced *Quercus rubra* is more strongly impacted by the weather than by the forest site (a case study from Poland). *Agricultural and Forest Meteorology*, 327, 109228. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109228>
- Hernández Quiroz, N. S., & Badano, E. I. (2017). Cambio climático y bosques de encinos. *Ciencia*, 68(4), 70–75.
- Maldonado, M. J. (2011). *Estudio fenológico de seis especies forestales con potencial maderable en el bosque universitario del Valle del Sacta – Cochabamba*.
- Meger, J., Ulaszewski, B., Chmura, D. J., & Burczyk, J. (2024). Signatures of local adaptation to current and future climate in phenology-related genes in natural populations of *Quercus robur*. *BMC Genomics*, 25(1), 78. <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09897-y>
- Mejía Gutiérrez, M. (1990). *Fenología: Fundamentos y métodos*.
- Méndez Osorio, C., Mora Donjuán, C. A., Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., & Pequeño Ledezma, M. A. (2018). Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 35–53. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.236>
- Olvera-Vargas, M., & Figueroa-Rangel, B. L. (2012). Caracterización estructural de los bosques montanos dominados por encinos en el centro-occidente de México. *Ecosistemas*, 21(1–2), 74–84.
- Pérez López, P., López Barrera, F., García Oliva, F., Cuevas Reyes, P., & González Rodríguez, A. (2013). Procesos de regeneración natural en bosques de encinos: factores facilitadores y limitantes. *Biológicas*, 15, 18–24.

Recibido:
29/octubre/2024

Aceptado:
9/junio/2025

- 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. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2002000100002>
- Ramírez-Martínez, A., & Mondragón Chaparro, D. (2020). La fenología de bromelias y orquídeas epífitas en un bosque de encino estacional. *Desde El Herbario CICY*, 12, 1–5.
- Rivas Romero, J. A., Alvarez-Requena, J. J., & Bravo-Santizo, V. (2021). Fenología reproductiva de *Prunus lundelliana* Standl. (Rosaceae), un árbol en peligro de extinción con potencial para restaurar bosques nubosos de Mesoamérica. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 8(1), 43–56. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v8i1.857>
- Rodríguez-Rajo, J., Méndez, J., & Jato, M. V. (2000). Influencia de la temperatura en la floración de *Quercus* en el sur de Galicia (Ourense y Vigo, 1994-98). *Acta Botanica Malacitana*, 25, 153–163. <https://doi.org/10.24310/abm.v25i0.8480>
- Rosaliano Evaristo, R., Ávila-Akerberg, V., Franco-Maass, S., Valencia-A., S., & López Mathamba, L. A. (2022). Estructura y diversidad arbórea en bosques de encino del centro de México. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822449. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822449>
- Rubio-Licona, L. E., Romero-Range, S., & Rojas-Zenteno, E. C. (2011). Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de *Quercus* (Fagaceae) en el estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII(1), 77–90. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.03.014>
- Ruiz-Aquino, F., Valdez-Hernández, J. I., Romero-Manzanares, A., Manzano-Méndez, F., & Fuentes-López, M. E. (2015). Distribución espacial de dos especies de encinos y atributos ecológicos del bosque de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(1), 67–80. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.05.023>
- Sabás-Rosales, J. L., Sosa-Ramírez, J., & Luna-Ruiz, J. D. J. (2015). Diversidad, distribución y caracterización básica del hábitat de los encinos (*Quercus*: Fagaceae) del Estado de San Luis Potosí, México. *Botanical Sciences*, 93(4), 881–897. <https://doi.org/10.17129/botsoci.205>
- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1), 107–120. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411222>
- Saveanu, L., & Murray, M. G. (2014). Fenología de la floración de *Ulmus pumila* L. (Ulmaceae) en la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *Polibotánica*, 38, 113–127.
- Schermer, É., Bel-Venner, M., Gaillard, J., Dray, S., Boulanger, V., Le Roncé, I., Oliver, G., Chuine, I., Delzon, S., & Venner, S. (2020). Flower phenology as a disruptor of the fruiting dynamics in temperate oak species. *New Phytologist*, 225(3), 1181–1192. <https://doi.org/10.1111/nph.16224>
- Tang, J., Körner, C., Muraoka, H., Piao, S., Shen, M., Thackeray, S. J., & Yang, X. (2016). Emerging opportunities and challenges in phenology: a review. *Ecosphere*, 7(8). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1436>
- Zárate Cuevas, L., Núñez López, N. M., Cuevas Guzmán, R., Morales Arias, J. G., Sánchez Rodríguez, E. V., Guzmán Hernández, L., & Solís Magallanes, J. A. (2022). Fenología reproductiva de árboles en una zona montañosa del occidente de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(69), 155–176. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.1176>