



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**EVALUACIÓN DE LA FENOLOGÍA DE *Quercus rugosa* Née, EN
LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, CIUDAD DE MÉXICO,
MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

BRENDA UTRERA SALGADO

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. SILVIA CASTILLO ARGÜERO

2017

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno
Apellido paterno
Apellido materno
Nombre(s)
Teléfono
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Carrera
Número de cuenta

1. Datos del alumno
Utrera
Salgado
Brenda
8180709905
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
309333100

2. Datos del tutor
Grado
Nombre(s)
Apellido paterno
Apellido materno

2. Datos del tutor
Doctora
Silvia
Castillo
Argüero

3. Datos del sinodal 1
Grado
Nombre(s)
Apellido paterno
Apellido materno

3. Datos del sinodal 1
Doctora
Ana Elena
Mendoza
Ochoa

4. Datos del sinodal 2
Grado
Nombre(s)
Apellido paterno
Apellido materno

4. Datos del sinodal 2
Doctora
Susana
Valencia
Avalos

5. Datos del sinodal 3
Grado
Nombre(s)
Apellido paterno
Apellido materno

5. Datos del sinodal 3
Doctora
María Guadalupe
Barajas
Guzmán

6. Datos del sinodal 4
Grado
Nombre(s)
Apellido paterno
Apellido materno

6. Datos del sinodal 4
Doctora
Silvia
Romero
Rangel

7. Datos del trabajo escrito.
Título

7. Datos del trabajo escrito
Evaluación de la fenología de *Quercus rugosa* Née, en la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México, México.

Número de páginas
Año

112p
2017

Agradecimientos

Al proyecto PAPIIME con número PE204413, "Ecología de las malezas y especies introducidas en el bosque templado de la cuenca del río Magdalena", por la beca otorgada para el término de mis estudios y la realización de esta tesis.

Al proyecto PAPIIT con número IN216014, "Importancia de las malezas en las comunidades secundarias del bosque templado de la cuenca del río Magdalena", por la beca otorgada para la realización de esta tesis.

A la comunidad de la Magdalena Atlitic, por permitirme estudiar el hermoso bosque templado, el cual deseamos cuidar y conservar, esperando que esta tesis les sea de utilidad en el futuro.

A la Doctora Silvia Castillo Argüero, por todo el apoyo que me brindó durante la realización de mi tesis, por integrarme a su equipo de trabajo y sobre todo por estar siempre pendiente de mí, un párrafo no bastaría para agradecerle todo lo que ha hecho por mí, en especial porque me hizo ser mejor persona, me ayudó expresarme más y seguir mis sueños.

A las integrantes de mi honorable jurado, la Doctora Ana Elena Mendoza Ochoa, la Doctora Susana Valencia Avalos, la Doctora María Guadalupe Barajas Guzmán y la Doctora Silvia Romero Rangel, por todos los comentarios que ayudaron a enriquecer mi tesis.

A la M. en C. Yuriana Martínez Orea, por apoyarme en campo, por los comentarios acertados hechos a mi tesis durante el taller, por resolver siempre mis dudas, por las charlas y que siempre me contagia su alegría.

Al Biól. Marco Antonio Romero Romero, por explicarme y ayudarme en la elaboración de los mapas presentados en mi tesis.

A la Doctora María Guadalupe Barajas Guzmán, por ayudarme a resolver las dudas que tenía en la parte estadística de mi tesis.

A todos los profesores y compañeros del taller de Evaluación de los bosques templados, porque gracias a los comentarios de todos ellos mi tesis empezó a tomar forma, por su sinceridad y apoyo.

A mis amistades del laboratorio de Dinámica de Comunidades: Lety, Yas, Gus, Clau, Yeimi, Ale, Sam, Adrian, Chris, por siempre aportarme información muy interesante

en los seminarios, por su apoyo, sus comentarios, por ayudarme cuando tenía dudas, y por siempre ayudarme a integrarme al equipo.

A Michelle, por acompañarme a campo y su valentía al arriesgarse en esa pendiente tan inclinada, al igual que a Berenice, que desde el primer día que la conocí me ha apoyado, tanto en campo como en el laboratorio, resolviendo mis dudas, y estudiando juntas la fenología en el encinar.

A “Pato” (Adrian), que me acompañó a campo y me ayudó a tomar fotos a los encinos, por ser mi mejor amigo apoyándome siempre, acompañándome a todos los festivales que podemos ir, por escucharme, por enseñarme sobre la cultura japonesa, por su paciencia y amistad todos estos años.

A mis amigas Vianey y Gio, que las conozco de toda la carrera y siempre me brindan su apoyo, me escuchan, me dan ánimos, por todas las pláticas y risas, por darme siempre ánimos, por su confianza en mí, por toda su amistad.

A mis amigas Liz, Clau, Sharon, Ana, Karen y Andy, porque las clases de coreano fueron más divertidas junto a ellas, por todas las salidas a comer, por fomentarme el interés hacia la gastronomía coreana, por escucharme y entenderme.

A todos los de la banca, en especial a Kathia, Patsi, Erick y Carlitos, por ser mis amigos desde el CCH, compartir aventuras, por sacarme siempre una sonrisa, por estar al pendiente de mí, por su confianza y apoyo.

A todos los profesores que me dieron clases durante mi carrera, y a las amistades que conocí gracias al interés compartido hacia la Biología.

Dedicatoria

A mis padres Martha Salgado y Fernando Utrera, a los cuales admiro mucho, siempre me han apoyado en todos los aspectos, han buscado lo mejor para mi hermano y para mí, les agradezco por las noches de desvelo, por cuidarme, por respetar mis decisiones, son una personas muy valientes y gentiles, por eso soy muy afortunada de tenerlos como padres. Ustedes siempre me dan ánimos y no dejan que me derrumbe, por eso con todo mi amor les dedico esta tesis.

A mi hermano y a toda mi familia por su apoyo constante y cariño.

ÍNDICE

Resumen	1
1. Introducción	3
1.1 Fenología.....	3
1.2 Factores abióticos y bióticos que influyen en la fenología.....	5
1.3 Producción, re-dispersión y germinación de bellotas de encinos.....	7
2. Antecedentes	12
3. Justificación	17
4. Objetivos	18
5. Hipótesis	19
6. Método	20
6.1 Área de estudio.....	20
6.2 Objeto de estudio <i>Quercus rugosa</i> Née.....	23
6.3 Muestreo de campo.....	28
6.4 Análisis de datos.....	37
7. Resultados	42
7.1 Fenología foliar de <i>Quercus rugosa</i>	42
7.2 Relación entre la fenología vegetativa de <i>Quercus rugosa</i> y las variables abióticas.....	44
7.3 Relación entre la fenología vegetativa de <i>Quercus rugosa</i> y las variables dasonómicas.....	45
7.4 Fenología de las flores de <i>Quercus rugosa</i>	48
7.5 Relación entre las fenofases florales de <i>Quercus rugosa</i> y las variables abióticas.....	50
7.6 Relación entre las fenofases florales de <i>Quercus rugosa</i> y las variables dasonómicas.....	50
7.7 Proporción de individuos con flores maduras.....	54

7.8 Fenología de los frutos de <i>Quercus rugosa</i>	55
7.9 Relación entre las fenofases de los frutos de <i>Quercus rugosa</i> y las variables abióticas.....	57
7.10 Relación entre las fenofases de los frutos de <i>Quercus rugosa</i> y las variables dasonómicas.....	57
7.11 Relación entre las fenofases de los frutos de <i>Quercus rugosa</i> y las bellotas encontradas en las trampas.....	61
7.12 Proporción de individuos con frutos maduros.....	66
7.13 Producción de frutos de <i>Quercus rugosa</i>	67
7.14 Las bellotas de <i>Quercus rugosa</i> en las trampas.....	68
7.15 Germinación.....	70
8. Discusión	74
8.1 Fenología foliar de <i>Quercus rugosa</i>	74
8.2 Fenología de las flores de <i>Quercus rugosa</i>	77
8.3 Fenología de los frutos de <i>Quercus rugosa</i>	80
9. Conclusiones	88
10. Referencias	89
11. Apéndice	99

Resumen

La fenología estudia los eventos biológicos repetitivos del ciclo de vida de las plantas y su ocurrencia temporal. El conocimiento biológico y ecológico de los encinos de México es escaso, por lo que los estudios que contribuyen con información biológica ayudan a entender su comportamiento, y obtener mejores estrategias en el manejo de un ecosistema forestal. El presente estudio muestra la relación entre la fenología de *Quercus rugosa* con algunas variables abióticas y bióticas. Para ello, dentro del bosque *Q. rugosa-Q.laurina* de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México, a 30 individuos se les registró mensualmente durante un año el porcentaje de hojas, flores y frutos, y sus variables estructurales (cobertura, área basal y altura). Asimismo, se registraron las variables de humedad relativa ambiental, precipitación, humedad del suelo, temperatura y análisis químico del suelo. Además, se analizó la producción de frutos, y las bellotas removidas en trampas con el objetivo de conocer si se da una dispersión secundaria, también se determinó la respuesta germinativa de bellotas almacenadas y no almacenadas. Los resultados indican que hay un alto porcentaje de hojas maduras durante la temporada de lluvias, de hojas seniles durante la temporada de secas y hojas jóvenes al final de ésta. Por otro lado, la mayor proporción de flores maduras se presentó cuando la humedad relativa fue baja. Y las lluvias favorecieron el desarrollo de los frutos jóvenes. La fenofase de frutos maduros fue más sincrónica que la fenofase de flores maduras. Los encinos de tallas grandes presentaron mayor porcentaje de hojas maduras, flores y frutos. Los frutos jóvenes son afectados por el parasitismo mientras que los frutos maduros son depredados o re-dispersados. Las bellotas almacenadas tardaron más días en germinar comparadas con las que se recolectaron y sembraron inmediatamente. En conclusión *Q. rugosa* es una especie subperennifolia, cuyas estructuras reproductivas se presentan durante la temporada de secas. La producción masiva de bellotas asegura que varias escapen de la depredación, y las semillas tienen una respuesta germinativa lenta si son almacenadas. Este trabajo contribuye al conocimiento de esta especie en el área de estudio y es importante que se siga monitoreando su fenología principalmente la

reproductiva para entender como contribuye en el proceso de regeneración de la comunidad arbórea.

Palabras clave: fenofase, *Quercus rugosa*, bosque templado, sub-perennifolia, sincronización, re-dispersión.

1. Introducción

1.1 Fenología.

La fenología es el estudio de las fases o eventos biológicos del ciclo de vida de las plantas y su ocurrencia temporal (Talora y Morellato, 2000; Mantovani *et al.*, 2003; Ochoa *et al.*, 2008). Los trabajos fenológicos contribuyen al conocimiento de los patrones reproductivos y vegetativos de las plantas, y con ello proporcionan información sobre la disponibilidad temporal de recursos, por ejemplo, el conocimiento del patrón fenológico reproductivo ayuda a reconocer periodos adecuados para recolecta de semillas (Ochoa *et al.*, 2008).

Históricamente, Morren en el año 1849, introdujo el término fenología en "*Le globe, le temps et la vie*", señalándola como "La ciencia de los fenómenos que aparecen sucesivamente en el mundo". Sin embargo, no fue sino hasta 1884, que el término fue definido como "La observación de la primera floración y fructificación de las plantas, la foliación y defoliación de los árboles, la llegada de anidación, y la salida de las aves" (Hudson y Keatley, 2010). Para 1972, el Programa Biológico Internacional (IBP), definieron a la fenología como "El estudio de la temporalidad de los eventos biológicos recurrentes, las causas de su temporalidad con respecto a las fuerzas bióticas y abióticas y las interacciones entre las fases de la misma o diferentes especies" (Hudson y Keatley, 2010). En 1974, Lieth publicó un libro en el cual la fenología se presenta como una ciencia interdisciplinaria, y con varias aplicaciones, como su uso en la educación ambiental, ya que puede mostrar la complejidad de un organismo y las interacciones que tiene con el medio ambiente,

estimulando y manteniendo el interés de los alumnos hacia la naturaleza (Stearns, 1974; Schwartz, 2013).

En los estudios fenológicos, las fases fenológicas o fenofases, son el tiempo durante el cual cierta estructura de las plantas surge, modifica, o deja de presentarse (De Cara, 2006). Las fenofases de carácter reproductivo, corresponden a la floración y fructificación, mientras que las fenofases vegetativas, incluyen la foliación y defoliación de las plantas (Williams-Linera y Meave, 2002; Maldonado-Romo, 2014). El tiempo que abarcan dos fenofases sucesivas, se le conoce como etapa fenológica (De Cara, 2006). Por lo tanto, los trabajos fenológicos pueden estar enfocados en una o varias fenofases según el objetivo planteado, como por ejemplo la floración puede estudiarse desde la producción de botones florales hasta la polinización de las flores maduras (Rathcke y Lacey, 1985).

El conocimiento fenológico ayuda a entender los procesos de regeneración, la organización de los recursos dentro de las comunidades, las interacciones entre diferentes especies, así como la evolución de sus historias de vida (Talora y Morellato, 2000). Además, los estudios fenológicos pueden aplicarse al manejo de recursos, ya que conociendo el periodo donde se encuentra la mayor disponibilidad de frutos de alguna especie de interés, se pueden diseñar estrategias para su recolección, de igual manera, para el manejo forestal favorecer la calidad de las semillas para la producción de nuevas plántulas (Mantovani *et al.*, 2003; Ochoa *et al.*, 2008).

1.2 Factores abióticos y bióticos que influyen en la fenología.

Es importante conocer los factores abióticos y bióticos que influyen en el desarrollo de las diferentes fases fenológicas de las especies. Estos factores, en conjunto, pueden determinar el momento de inicio de una fenofase, su duración y frecuencia, o la intensidad de la producción de estructuras reproductivas (Smith-Ramírez y Armesto, 1994). En estudios ya reportados, tanto de bosque templados como tropicales, se enfatiza que la humedad relativa, el fotoperiodo, la temperatura y la precipitación son los principales factores que afectan el comportamiento fenológico (Smith-Ramírez y Armesto, 1994; Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007; Ochoa *et al.*, 2008). También pueden influir factores como el viento, gases, características físicas, químicas y geológicas del suelo, la topografía y las interacciones biológicas (Gómez y Fournier, 1996).

Frankie *et al.* (1974), señalan que los patrones fenológicos foliares de los árboles tropicales, reaccionan ante la temporalidad ambiental, observando una pérdida de hojas durante las secas, mientras que los árboles de bosques templados o boreales, la producción de nuevas hojas es generalmente influenciada por la temperatura, la disponibilidad hídrica o el fotoperiodo en conjunto (Pinto *et al.*, 2011). Por otro lado, en cuanto a la fenología reproductiva, Pérez *et al.* (2013), mencionan la inhibición de la formación de flores como consecuencia de bajas temperaturas. En las plantas que son anemófilas, las flores se desarrollan en la temporada con baja precipitación, antes de que las hojas nuevas se presenten, y el polen sea transportado fácilmente por el viento (Rathcke y Lacey, 1985). Por lo

tanto, la polinización se puede ver afectada por la dirección y la intensidad del viento, por la humedad del ambiente y la temperatura (Pérez *et al.*, 2013).

Entre los factores bióticos que influyen en la fenología, se encuentran los procesos ecológicos, como la competencia; o los atributos propios de cada especie, como su variabilidad genética. Los procesos bioquímicos de las plantas responden a los cambios ambientales e influyen en las fenofases, reflejando así una respuesta fisiológica (De Cara, 2006), como el aumento de la concentración de etileno, que en condiciones de estrés ayuda a la maduración de los frutos (Jordán y Casaretto, 2006); sin embargo, las plantas pueden ajustar sus fenofases al tener respuestas fisiológicas independientes del ambiente (Damascos *et al.*, 2005).

Se han determinado atributos que controlan el tiempo de cambio de hojas, y pueden influir en las fenofases foliares, como los ritmos internos (Baker y Baker, 1936), la forma de vida (Lieberman, 1982; Smith-Ramírez y Armesto, 1994), la forma de crecimiento (Martínez-Romero, 1997), la morfología, los patrones de ramificación y el estrés hídrico (Damascos *et al.*, 2005).

Los patrones fenológicos de la floración de una comunidad, son influenciados por los síndromes de polinización que presentan, o por ser miembros de distintas familias; mientras que la duración de las fenofases de fructificación, pueden estar influenciadas por los síndromes de dispersión (Smith-Ramírez y Armesto, 1994; Martínez-Romero, 1997). Por lo tanto, dentro de las comunidades e incluso entre poblaciones de la misma especie, determinar la sincronización y duración de las fenofases es muy importante ya que permite entender cómo influyen en las

interacciones entre plantas-polinizadores, dispersores o herbívoros, debido a que los periodos reproductivos de las plantas, están ligados a la fenología de organismos que las necesitan para su propia sobrevivencia y reproducción (Both *et al.*, 2009).

1.3 Producción, re-dispersión y germinación de bellotas de encinos.

Conocer la producción de frutos es relevante para entender la dinámica poblacional de las especies en los bosques, ya que el número de frutos producidos, es el número potencial de nuevos individuos (Perea, 2011), contribuyendo en el proceso de regeneración de las comunidades arbóreas (González y Parrado, 2010).

Marroquín-Flores (1997), señala que las semillas producidas por los encinos son una importante fuente de alimento para animales silvestres como roedores o mamíferos pequeños. Además, no todos los años los encinos producen cantidades abundantes de semillas, ya que depende de la biología de cada especie y de los factores ambientales que intervengan.

El fenómeno donde se presenta una abundante producción de semillas, con alta sincronía y de variabilidad interanual, es conocido como *mast-seeding* o *masting*, así como los años donde se presenta son denominados *mast years*; y ocurre a nivel de población o comunidad (Sork *et al.*, 1993; Kelly, 1994; Kelly y Sork, 2002; Fernández-Martínez *et al.*, 2012).

Para explicar la ocurrencia de este fenómeno se han propuesto varias hipótesis, entre las cuales se encuentran: 1) La hipótesis de la eficiencia de la polinización, donde el *masting* es seleccionado en especies que pueden lograr una

eficiencia de polinización muy alta, mediante el esfuerzo de floración sincronizado por encima del promedio, lo cual es observado comúnmente en especies polinizadas por el viento, como en el caso de los encinos. Y, 2) la hipótesis de la saciedad del depredador, la cual establece que los depredadores de semillas son los que causan la selección hacia el *masting*, ya que la producción masiva de semillas de forma sincronizada, permite que un mayor porcentaje de éstas escape de la depredación (Kelly y Sork, 2002).

En relación con la hipótesis de la eficiencia de la polinización, se ha señalado que una alta producción de frutos es debida a una alta producción de flores, lo cual soporta tal hipótesis. Sin embargo, no es una regla que siempre se cumpla, ya que depende de la sobrevivencia de las mismas. También factores ambientales como la temperatura, puede influir en la maduración de los óvulos de las flores femeninas, como las heladas que pueden dañar los órganos reproductivos y, en consecuencia, mermar la producción de frutos (Sork y Bramble, 1993).

La dispersión es un proceso que determina la distribución espacial de las semillas, y contribuye en el éxito de la regeneración natural, por lo que se considera como una fase crítica en la historia de vida de las plantas (Gómez, 2003). Una de las ventajas de la dispersión, es que permite a la planta madre no competir por los mismos recursos con sus descendientes (Sánchez-Garfias *et al.*, 1991).

En el caso de los encinos, el mecanismo de dispersión es el denominado barocoria (Van der Pijl, 1982), lo cual significa que debido a la fuerza de gravedad y tamaño de las bellotas caen de forma vertical (Sánchez-Garfias *et al.*, 1991). Por

lo tanto, Perea (2011), señala que en los encinos se pueden diferenciar dos fases en la etapa de dispersión; la denominada dispersión primaria cuando las bellotas caen sobre el terreno donde se encuentra la planta madre, y la dispersión secundaria o re-dispersión, que son los eventos de movimiento posteriores que llevan a las bellotas de su ubicación original a diferentes posiciones más alejadas de la fuente.

La re-dispersión reduce la mortalidad denso-dependiente de la especie, no obstante, los micrositios donde queden depositadas las bellotas determinaran su sobrevivencia y, por lo tanto, el reclutamiento de plántulas (Perea *et al.*, 2011). Se ha reportado que ratones de campo, ardillas y aves, pueden ser los que lleven a cabo la re-dispersión (Smallwood *et al.*, 2001; Perea, 2011; Gili-Serrat, 2012; González-Barrio, 2012). Sin embargo, los animales no solo transportan o entierran las bellotas, también pueden consumirlas (Vázquez *et al.*, 1999). Por lo que, si la depredación de los frutos es intensa, el establecimiento de nuevos individuos de encino se verá limitado (Perea, 2011). Además, Pérez *et al.* (2013) señalan, que conforme se incrementa la distancia de la planta madre, la densidad de semillas dispersadas disminuye.

Se sabe que las bellotas también son una fuente de alimentos para insectos, de hecho, es común que presenten pequeños agujeros en la superficie de los frutos, debido a las larvas de los insectos que se alojan en el interior (Arizaga *et al.*, 2009). Todo esto apoya la hipótesis de la saciedad del depredador, y que debido al *masting*, gran porcentaje de las bellotas escape de la depredación, asegurando que su progenie sobreviva (Sork *et al.*, 1993; Pérez *et al.*, 2013). Por lo tanto, en los

años de mayor producción de frutos, la depredación después de la dispersión será variada (Perea, 2011).

Posterior a la producción de frutos y su dispersión, se inicia el proceso de germinación de las semillas, permitiendo que nuevas plántulas se establezcan, y la sobrevivencia de éstas dependerá también de factores limitantes tanto abióticos como bióticos (Rodríguez, 2009). Los insectos que atacan las bellotas de los encinos varían, siendo los escarabajos, mariposas y avispas los que frecuentemente afectan las semillas e interfieren en su germinación. Sin embargo, en algunos casos, aunque la semilla haya sido dañada puede desarrollarse hasta ser plántula, pero lo hacen de manera más lenta que las semillas que no recibieron daño (Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo, 2011). Los curculiónidos, pertenecientes a la familia Curculionidae, son reconocidos como el grupo que ataca las bellotas del género *Quercus* con gran intensidad (Jiménez-Muñoz, 2007), ya que se alimentan y desarrollan dentro de los frutos (Jiménez *et al.*, 2005).

El peso y el tamaño de las bellotas también afecta la germinación y el crecimiento de la plántula, debido a que las bellotas más grandes pueden producir radículas de talla grande, ya que cuentan con más tejido de reserva para el desarrollo de las plántulas y, por lo tanto, su sobrevivencia es mayor. Por lo que éstas pueden emerger del suelo desde una mayor profundidad, en comparación con las bellotas pequeñas (Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo, 2011).

Entre los factores abióticos que afectan la germinación se encuentra la capacidad de infiltración; con eventos de encharcamiento en época de lluvias que

provocan condiciones de hipoxia para las bellotas, o la sequía del suelo en época de secas que provoca estrés hídrico (Zavala, 2000; Rodríguez, 2009), el grado de compactación, los nutrientes disponibles en el suelo, o la materia orgánica presente (Marañón *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2013).

Tanto la producción de frutos, la dispersión y la germinación forman parte del proceso de regeneración. Sin embargo, cabe señalar que los cambios en la estructura vegetal en los encinares, como en cualquier otro tipo de bosque, causados por el hombre afectan este proceso de regeneración (Perea, 2011), por lo que conocer la fenología de los encinos y la dinámica de su ciclo de vida es de suma importancia para su conservación y manejo.

2. Antecedentes

Dada la importancia de entender los patrones fenológicos de las especies, existen varios estudios sobre algunas de las aproximadamente 500 especies de encinos que existen en el mundo (Manos *et al.*, 1999). Por ejemplo, en cuanto a la fenología foliar, se encuentra el trabajo de Rodríguez y Muñoz (2009) en España, quienes reportan que la producción de hojas nuevas de *Quercus ilex* se presenta durante la temporada con mayor disponibilidad hídrica y con temperaturas cálidas; similar al patrón reportado para las hojas jóvenes de *Q. glaucoides*, en Michoacán, y para *Q. insignis* y *Q. xalapensis* en el estado de México (Bello, 1994; Herrera-Marín, 2013). Céspedes-Porras (1991), también reporta que el inicio de la foliación de *Q. semannii* en Costa Rica, se correlaciona positivamente con una alta disponibilidad hídrica, aunque la producción máxima de hojas nuevas no coincide en los meses con la mayor precipitación registrada, señalando que el crecimiento vegetativo no es favorecido cuando la precipitación es muy alta.

Hay otras especies de encinos cuyo inicio de la foliación se presenta durante la temporada seca del año, tal como reporta Bello (1994), para los encinos de Michoacán, *Q. resinosa*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa* y *Q. crassipes*; o como el estudio de Madrigal (1997) para *Q. oocarpa* en Costa Rica, donde la producción de hojas nuevas se correlacionó positivamente con la radiación solar.

Vázquez *et al.* (1995), señalan que en la Sierra de Manantlán, México, las especies que conforman el bosque de *Quercus* caducifolio pierden sus hojas durante la temporada más seca del año (como *Q. castanea* o *Q. elliptica*); mientras

que las especies del bosque de *Quercus* sub-perennifolio defolian en períodos cortos (por ejemplo, *Q. crassifolia* y *Q. laurina*), y pierden sus hojas en diferentes momentos del año, por lo que el bosque tiene siempre una apariencia verde. Otros encinos que presentan un corto periodo de caída de follaje durante la temporada de secas, son *Q. semmannii* (febrero-abril) (Céspedes-Porras, 1991), *Q. resinosa*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Q. crassipes* (febrero-marzo) (Bello, 1994), *Q. insignis*, *Q. xalapensis* (octubre-enero) (Herrera-Marín, 2013) y *Q. oocarpa* (enero-marzo), (Madrigal, 1997). Sin embargo, la especie *Q. glaucoides* se comporta diferente a los otros encinos antes mencionados, ya que pierde el follaje al inicio de la temporada de lluvias (mayo-junio), cuando se presentan temperaturas cálidas (Bello, 1994).

En cuanto a la fenología reproductiva, se ha reportado que las flores de los encinos se desarrollan durante la temporada de secas; tal como lo muestran los estudio hechos en Costa Rica por Céspedes-Porras (1991) y Madrigal (1997), señalando que el pico máximo de floración de la especie *Quercus semmannii* y de *Q. oocarpa*, respectivamente, se presentaron en temporada de baja precipitación y poca humedad del suelo. Estos resultados son similares a los reportados por Rodríguez y Muñoz (2009) en España, para la especie *Q. ilex*.

En México los estudios sobre la fenología reproductiva de los encinos en diferentes sitios del estado de Michoacán, reportan que tanto las flores femeninas como masculinas se presentan en temporada de secas (Bello, 1994; Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007; Cortés *et al.*, 2011). Sin embargo, la única especie de encino que se comportó diferente fue *Q. deserticola*, al presentar flores a inicios de la temporada de lluvias (Cortés *et al.*, 2011).

Con relación a la fenología de los frutos de los encinos, se ha reportado que varias especies presentan su mayor producción en temporada de lluvias y cuando la humedad relativa es mayor (Bello, 1994; Madrigal, 1997; Rodríguez y Muñoz, 2009). En contraste, hay estudios que reportan el inicio de la fructificación durante la temporada de baja precipitación (Céspedes-Porras, 1991; Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007; Cortés *et al.*, 2011). Además de estudiar la fenología, estimar la cantidad de bellotas que producen los encinos es importante ya que aporta información sobre su establecimiento y abundancia, y ayuda a conocer la dinámica entre la producción de frutos y los animales que las consumen. Por ello Rodríguez-Estévez *et al.* (2008), hicieron una revisión bibliográfica de los métodos cualitativos (indirectos) y cuantitativos (directos) para estimar la producción de frutos y relacionarla con las cargas ganaderas de cerdos que se alimentan de bellotas.

Por otro lado, existen trabajos que estudiaron la influencia de los factores ambientales sobre la producción de frutos. Uno de ellos es el de Sork y Bramble (1993), quienes monitorearon por ocho años plantas de *Q. velutina*, *Q. rubra* y *Q. alba* en Estados Unidos, reportando que la sequía ocasiona estrés hídrico y provoca la abscisión temprana de sus bellotas. Estos autores, señalan que los encinos no producen frutos de un año a otro, porque durante los años semilleros los encinos utilizan gran parte de sus recursos para la reproducción sexual, así que los años posteriores acumulan recursos suficientes para tener nuevamente otro año semillero. Otro estudio es el de González y Parrado (2010), quien reporta que para la especie *Q. humboldtii*, la fructificación se ve favorecida por una alta cantidad de fósforo (P), potasio (K) y nutrientes del suelo Ca, Mg, y Na; mientras que la acidez

y el aluminio intercambiable la afectan debido a que altos niveles de aluminio provocan toxicidad.

En cuanto a los estudios realizados sobre la dispersión de las bellotas, Perea (2011), reportó que la dispersión primaria de los frutos de *Q. pirenaica* y *Q. petraea* se lleva a cabo por las aves y una vez que caen al suelo, la dispersión secundaria o re-dispersión, se realiza por pequeños roedores (principalmente *Apodemus sylvaticus*), en general, los consumidores de semillas prefieren las bellotas de talla grande. Estos resultados son similares a lo reportado por González-Barrio (2012), quien también reconoce que la actividad del ratón de campo *A. sylvaticus*, es influenciada por el microhábitat, debido a que en las zonas con mayor vegetación los ratones tienen mayor seguridad al no ser percibidos por sus depredadores fácilmente y dedican más tiempo a la selección de bellotas, prefiriendo las bellotas de talla grande de *Q. faginea*.

Marroquín-Flores (1997) menciona que la germinación de las bellotas de los encinos ocurre pocos días después de caer al suelo, ya que necesitan enraizarse profundamente en el menor tiempo posible. Los días que tardan en germinar varían, ya que influyen características del ambiente como la intensidad de luz y humedad del suelo, o características propias de cada especie.

Las bellotas de los encinos son recalcitrantes, es decir, que pierden el contenido de humedad rápidamente y es difícil su almacenamiento por largos periodos de tiempo, perdiendo así su viabilidad (Zavala, 2008; González-Salvatierra, 2013; García-Hernández, 2014). Así que factores como el contenido de

humedad, la temperatura y el tamaño de las bellotas, son atributos muy importantes en el proceso de la germinación (Zavala, 2008; Huerta-Paniagua, 2010).

3. Justificación

El conocimiento fenológico de las especies a pesar de ser importante, es aún muy escaso (Herrera-Marín, 2013), y en México los estudios sobre la fenología de las especies leñosas se concentran en bosques tropicales secos o en selvas tropicales y pocos en bosques templado (Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007, Cortés-Flores, 2010, Cortés-Flores *et al.*, 2011). Inclusive, el conocimiento biológico de los encinos mexicanos es limitado, al igual que la información sobre su ecología básica, la cual es necesaria para enfrentar el deterioro que sufren los encinares mexicanos de las zonas montañosas (Bonfil-Sanders, 1998). El conocimiento sobre la fenología de los encinos permite describir su comportamiento, y de esta forma obtener mejores resultados en el manejo de un ecosistema forestal (Marroquín-Flores, 1997). Por ello resulta de particular importancia profundizar en el conocimiento fenológico de la especie *Quercus rugosa*, que se encuentra dentro de la cuenca del río Magdalena (CRM), y que pertenece a una de las zonas forestales que circundan la cuenca de México. Estas zonas han sido afectadas por la actividad humana en los últimos años y por el crecimiento acelerado de la mancha urbana (Almeida-Leñero *et al.*, 2007), poniendo en riesgo la posibilidad de estudiarlos y aportar información acerca de los factores bióticos y abióticos que pueden influir en la variación temporal de la fenología de *Quercus rugosa* dentro de la CRM.

4. Objetivos

Objetivo general

Generar información de las diferentes fenofases de *Quercus rugosa* Née y su relación con factores abióticos y bióticos, en el bosque templado dentro de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México.

Objetivos particulares

Describir el patrón de foliación, floración y fructificación de *Quercus rugosa* y su relación con algunas variables abióticas como la precipitación, características químicas del suelo y la temperatura.

Relacionar el patrón de foliación, floración y fructificación de *Quercus rugosa* con algunas variables bióticas como el área basal, cobertura y altura.

Cuantificar la producción de frutos de *Quercus rugosa*, la proporción de los que son re-dispersados y el porcentaje de germinación de las bellotas.

5. Hipótesis

Teóricamente se ha documentado que la activación de la floración es favorecida por temperaturas cálidas, y poca abundancia de hojas lo cual permite una mayor movilidad del polen entre las copas de los árboles. Por lo que se espera que en la temporada de menor precipitación del año se presente la mayor producción de flores de *Quercus rugosa*.

Por el contrario, la mayor disponibilidad de agua favorece la producción de hojas nuevas y de frutos, ya que se da en la temporada de lluvias como estrategia de los encinos para aprovechar la mayor humedad del suelo y favorecer la germinación de sus bellotas que son recalcitrantes. Por lo tanto, se espera encontrar los picos máximos de producción de hojas jóvenes y de frutos maduros en la temporada de mayor precipitación.

6. Método

6.1 Área de estudio

La cuenca del río Magdalena (CRM) se localiza al límite SO de la Ciudad de México (Fig. 1), entre los 19°14' 35" y 19° 17' 53" N y 99°15'06" y 99°20'18" O, en la vertiente sur-occidental de la Sierra de las Cruces y forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana. El relieve montañoso va de 2470 m s.n.m. en el noreste a 3850 m s.n.m. al suroeste (Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Jujnovsky *et al.*, 2010; Delgadillo-Durán, 2011).

La cuenca del río Magdalena se extiende en un 60% sobre la delegación Magdalena Contreras, en un 30% sobre la delegación Álvaro Obregón y sobre Cuajimalpa en un 10%, con una superficie de 2925 ha aproximadamente. La CRM forma parte importante del remanente de vegetación de bosque templado dentro de la Ciudad de México, está representada por la vegetación predominante de bosque de *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, bosque mixto y de *Quercus rugosa*–*Quercus laurina* (Ávila-Akerberg, 2002; Almeida-Leñero *et al.*, 2007).

El área donde se marcaron los individuos de *Quercus rugosa*, es una zona conocida como Segundo Dinamo dentro de la cuenca del río Magdalena, cuyas coordenadas son 19°17'0.98" N y 99°19'27.42" O. En este sitio se encuentra un bosque de *Q. rugosa*-*Q. laurina*, ubicado entre los 2500 a 2800 m s.n.m. (Santibañez-Andrade, 2009).

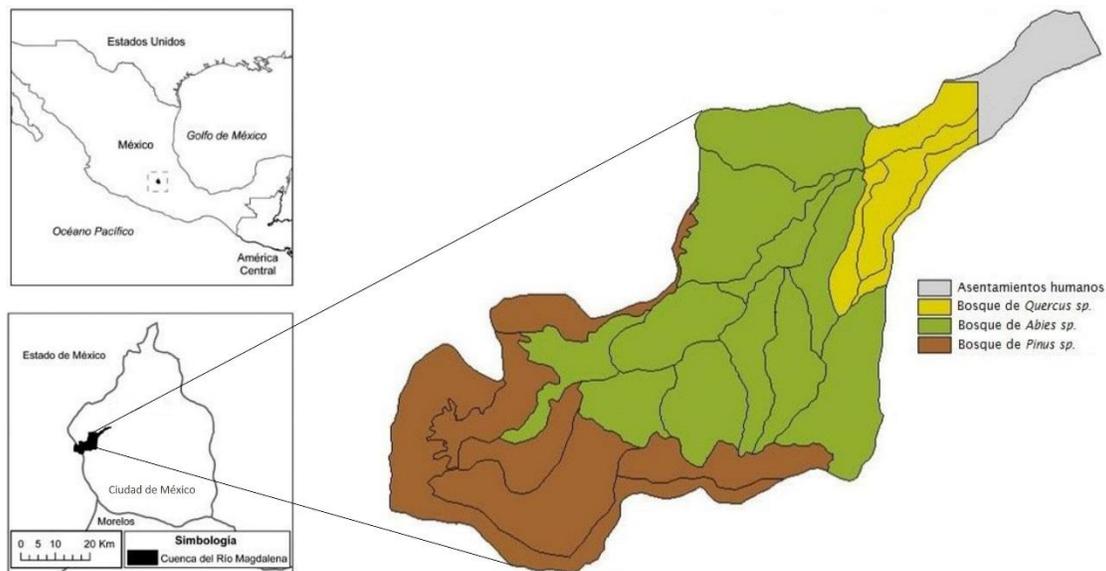


Figura 1. Mapa de la cuenca del río Magdalena dentro de la Ciudad de México.

Geología

En la cuenca del río Magdalena se puede encontrar material ígneo extrusivo, asociado con la Sierra de las Cruces. El tipo de rocas que predominan son las andesitas y dacitas. Las fracturas que se presentan en su mayoría tienen una dirección hacia el oriente (suroeste-noroeste) (Álvarez-Román, 2000).

Suelo

El suelo que predomina dentro de la cuenca del río Magdalena es el tipo andosol húmico, en menor proporción se encuentran los andosoles ócrico, mólico o combinados con suelos tipo litosoles. La textura varía dependiendo de la ubicación, pero principalmente son de tipo franco, migajón arcilloso y migajón arenoso (Jujnovsky-Orlandini, 2003). Entre las características químicas del suelo en la zona conocida como el segundo dinamó se reporta un pH promedio de 5.5, un 17% de materia orgánica, y concentración de fósforo total de 38 mg g⁻¹ (Olivera-Morales,

2009). En la misma área también se reporta un pH de 5.9, 23.5% de contenido de materia orgánica, 0.8% de Nitrógeno, 23.9 ppm de Fósforo, 1.5 meq/100g de Potasio (Castro-Gutiérrez, 2013).

Clima

García (1973) señala que los climas C (w) se encuentran mayormente en las montañas y mesetas del centro y sur del país. Los bosques de encinos de México se encuentran principalmente en zonas con clima Cw, de acuerdo con la clasificación de Köpen (1948), pero también se les puede encontrar en climas Cf, Cs, Cx', entre otros. Por lo tanto, son bosques típicos de las regiones con un clima templado y semihúmedo (Rzedowski, 2006). En la cuenca del río Magdalena, debido al gradiente altitudinal el clima se va modificado; según la clasificación de García (1973), en la parte urbana y hasta 3500 m s.n.m. el clima es templado subhúmedo, en la parte más alta alrededor de 3700 m s.n.m., es semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano (Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Olivera-Morales, 2009).

Vegetación

La vegetación de la cuenca del río Magdalena combina especies holárticas y neotropicales. (Almeida-Leñero *et al.*, 2007). Se distinguen para la CRM las siguientes comunidades vegetales representativas: bosque de *Pinus hartwegii*, la cual se distribuye en la parte alta entre 3420 y 3800 m s.n.m, bosque de *Abies religiosa* que se ubica entre 2750 y 3500 m s.n.m. y el bosque mixto y bosque de *Quercus sp.* localizados en la parte baja entre 2620 y 3370 m s.n.m. (Nava-López,

2003; Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Santibañez-Andrade, 2009). Dentro de la comunidad del bosque mixto se pueden encontrar asociaciones de *Abies religiosa* con *Quercus laurina*, de *Q. laurina* con *Q. rugosa* y de *Pinus patula* con *Cupressus lusitanica* (Jujnovsky-Orlandini, 2003).

6.2 Objeto de estudio *Quercus rugosa* Née

La familia Fagaceae comprende de seis a nueve géneros (González-Villarreal, 1986; Arizaga *et al.*, 2009), cuyas especies se distribuyen en ambos hemisferios, especialmente en regiones templadas y subtropicales. Entre las características que comparten las especies de esta familia, son tallos leñosos, hojas coriáceas, forma de crecimiento de árbol o arbusto, son monoicos, las flores masculinas generalmente están dispuestas en amentos de un cáliz 4 a 8-lobulado, estambres en número variable, presenta filamentos delgados y anteras con dehiscencia longitudinal; las flores femeninas son solitarias o en grupos de tres formando racimos cortos, formadas por un cáliz 4 a 8-lobulado, adherido al ovario ínfero, trilocular, tiene estilos en número igual de lóculos, y en cada lóculo hay un óvulo o dos; sus frutos son bellotas, con una semilla en cada fruto (González-Villarreal, 1986; Arizaga *et al.*, 2009).

Dentro del género *Quercus*, se reconocen dos subgéneros, *Cyclobalanopsis* y *Quercus*; éste último comprende tres secciones: *Lobatae* (encinos rojos), *Protobalanus* (encinos intermedios), y *Quercus* (encinos blancos) (Manos *et al.*, 1999).

Quercus rugosa pertenece a la sección de encinos blancos, y taxonómicamente es una especie perteneciente a la clase Equisetopsida, del orden Fagales, de la familia Fagaceae (Tropicos.org). Es descrita por Luis Née por primera vez, en Anales de Ciencias Naturales en el año de 1801. Algunos de los nombres comunes a los que se conoce a *Q. rugosa* son encino avellano, encino blanco liso, encino cuero, encino asta, encino de miel o roble (Arizaga *et al.*, 2009). Es un árbol semi-caducifolio que puede alcanzar una altura de 20 m (en algunos casos hasta 35 m). Presenta una copa amplia y de forma redonda que brinda una densa sombra. Sus hojas son coriáceas, gruesas y rugosas, las hojas jóvenes presentan el haz rojizo por la abundancia de tricomas glandulares, la vena principal es pubescente, mientras que el envés presenta indumento denso y pálido, la epidermis está totalmente cubierta de tricomas glandulares; las hojas maduras presentan una lámina muy rugosa, frecuentemente cóncavas elípticas, elíptico-obovadas u obovadas (Fig. 2), de 11 a 15 cm de largo por 7 a 9 cm de ancho, ápice obtuso o a veces agudo, base redondeada o cordada, con un margen ligeramente engrosado, a veces ligeramente revoluto, cartilaginoso, crenado a dentado-serrado, con 3 a 12 crenas o sierras en cada lado, la venación secundaria es craspedódroma, tiene nervaduras secundarias de 8 a 9 en cada lado, rectas, curvadas o sinuadas, haz verde o grisáceo, algo lustroso, glabro o con pocos tricomas fasciculados y tricomas glandulares, principalmente en la base de la nervadura primaria; envés amarillento a castaño claro, con indumento esparcido o denso de tricomas fasciculados de estípites cortos, sus rayos enredados, así como otros glandulares vermiformes abundantes de color ámbar o rojizos, epidermis ampulosa y papilosa. El tronco tiene un diámetro de hasta 1 m o más (Fig. 3), corteza gris, escamosa; ramillas de color

gris o castaño, de entre 1.5 a 4 mm de diámetro; peciolo de 5 a 10 mm de largo, pubescente (Née, 1801; Romero *et al.*, 2014).

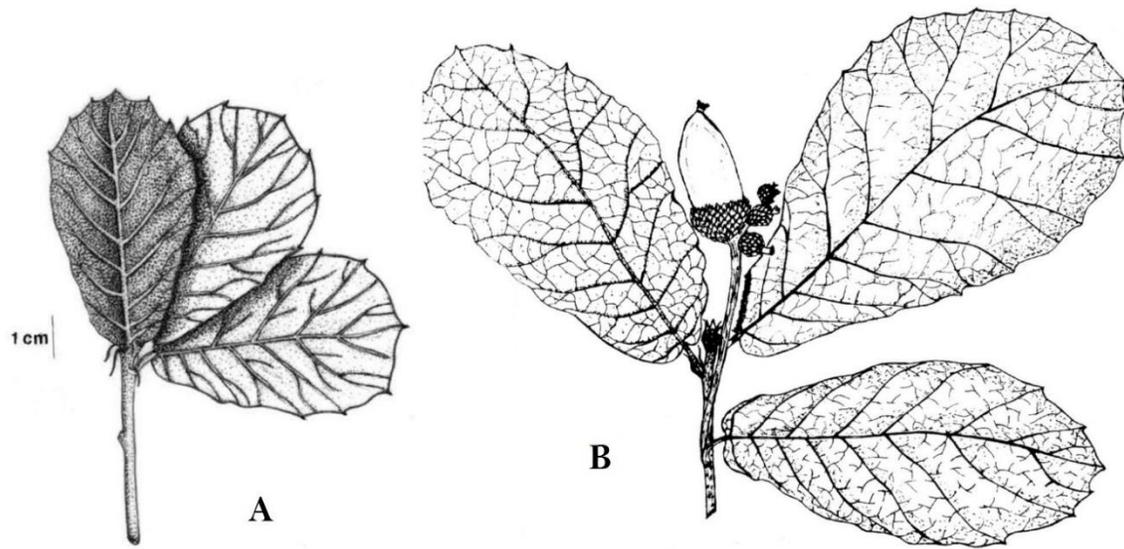


Figura 2. Morfología de *Quercus rugosa* A) Detalle de rama con hojas (Tomada de Romero *et al.*, 2007); B) Rama con hojas y bellota (Tomada de González-Villarreal, 1986).



Figura 3. Árboles de *Quercus rugosa* de la zona de estudio.

En un individuo de *Quercus rugosa* generalmente se presentan tanto inflorescencias masculinas como femeninas, aunque en algunos individuos se pueden llegar a presentar inflorescencias hermafroditas (Romero *et al.*, 2007).

Los amentos masculinos (agrupaciones de flores masculinas que cuelgan de los individuos) miden de 12 a 20 mm de largo (Fig. 4), con 20 a 26 flores, son tomentosos, el perianto es sésil y mide cerca de 2 mm de diámetro, presenta 10 estambres, los filamentos son de 2 a 3 mm, las anteras miden 0.5 a 1 mm de largo. Mientras que los amentos femeninos, miden entre 12 a 13 mm de largo, las flores

femeninas se encuentran en grupos de 5 a 30, distribuidos a lo largo de un pedúnculo pubescente (Vázquez *et al.*, 1999; Arizaga *et al.*, 2009; Romero *et al.*, 2014). El transporte de polen de las flores masculinas a las femeninas se realiza por medio del viento, es decir, que es una polinización del tipo anemófila (Arizaga *et al.*, 2009).



Figura 4. Amentos, conjunto flores masculinas de *Quercus rugosa* (Tomado de biologia.fciencias.unam.mx).

Sus frutos son conocidos como bellotas y contienen en su interior generalmente una sola semilla (Vázquez *et al.*, 1999; Arizaga *et al.*, 2009), son frutos anuales, solitarios o en grupos de 2 a 5 (Fig. 5A), pedúnculos de 1.5 a 5 cm de largo, cúpulas hemisféricas, de 5 a 12 mm de largo por 10 a 14 mm de diámetro, sus escamas de ápice agudo y base engrosada, pubescentes, bellota ovoide o angostamente elíptica, de 13 a 28 mm de largo por 8 a 11 mm de diámetro, incluso en la cúpula una tercera parte o la mitad de su largo (Fig. 5B) (Romero *et al.*, 2014).

Cuando las bellotas están inmaduras son de color verde, mientras que las maduras son de color pardo (Fig. 5C) (Arizaga *et al.*, 2009). La mayor proporción del peso seco total de la semilla se debe a los cotiledones del embrión que se mantienen en estado turgente dentro del pericarpio (Vázquez *et al.*, 1999).

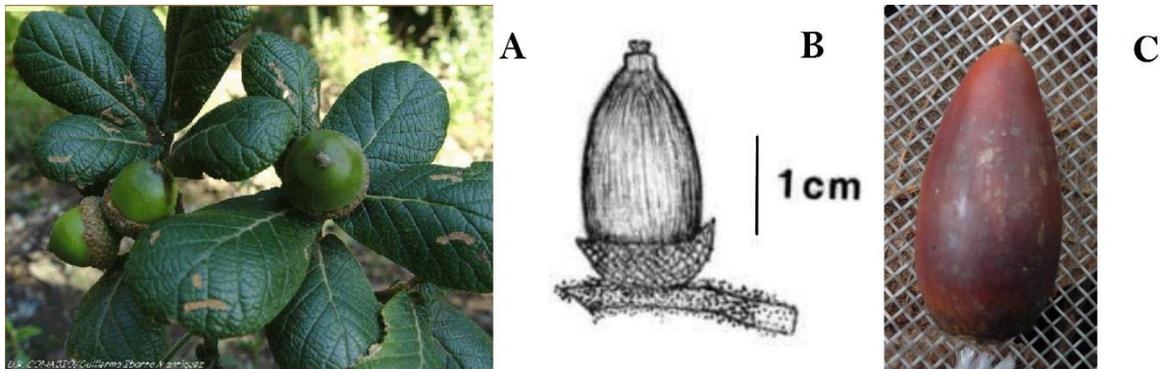


Figura 5. A) Bellotas inmaduras de *Quercus rugosa* (Tomado de medicinatradicionalmexicana.unam.mx). B) Esquema de bellota con cúpula (Tomado de Romero *et al.*, 2007). C) Bellota madura sin cúpula.

6.3 Muestreo de campo

De las cuatro unidades ambientales definidas por Santibáñez-Andrade *et al.* (2015) para el bosque de *Quercus rugosa-Quercus-laurina* el presente estudio se realizó en la unidad ambiental número 1 (Fig. 6), cuya altitud va de 2,700 a 3,000 m s.n.m., con una orientación suroeste, que presenta una fisionomía de dosel cerrado muy denso, y más conservado.

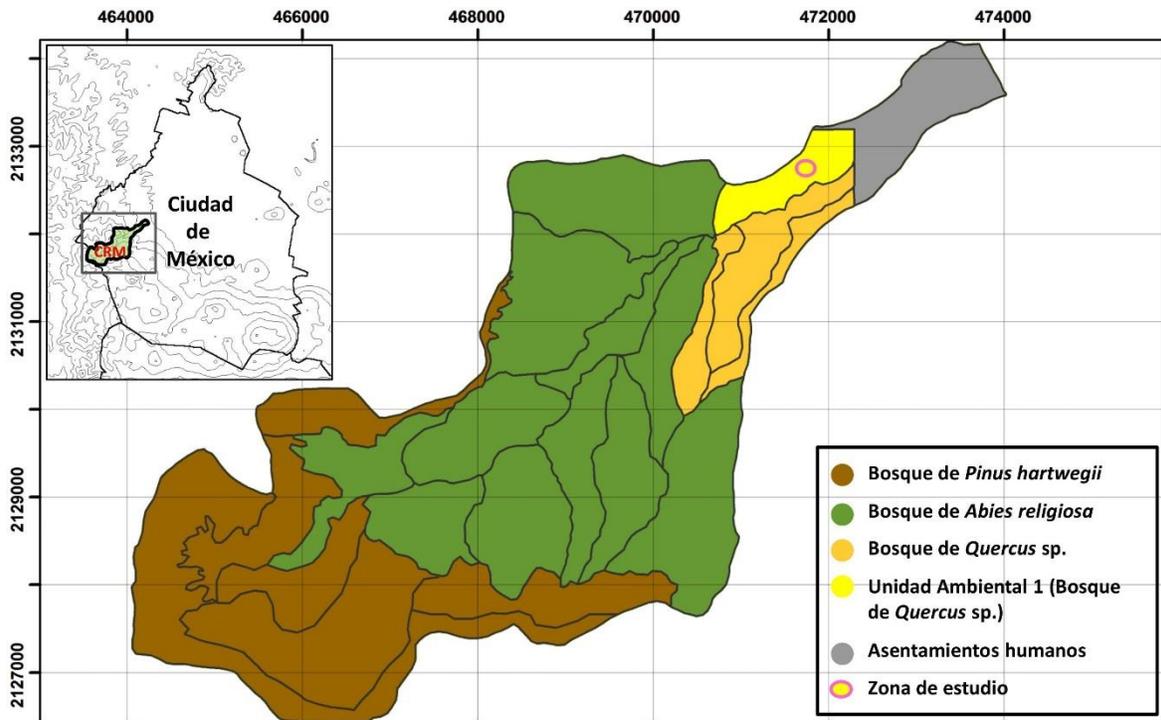


Figura 6. Localización de la Unidad 1 dentro de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México. Coordenadas UTM (datum WGS84).

A lo largo de una pendiente se marcaron 30 individuos de *Quercus rugosa* (Fig. 7), con etiquetas metálicas que incluyen la información del número de individuo. Se instaló una trampa por cada individuo de 50 cm de diámetro, hechas de alambre encerado y tela de mosquitero. Las trampas se colocaron en la base del tronco y bajo la copa del árbol (Fig. 8).



Figura 7. Individuo de *Quercus rugosa* con etiqueta metálica en el tronco.



Figura 8. Individuo de *Q. rugosa* con trampa amarrada a la base del tronco.

MÉTODO

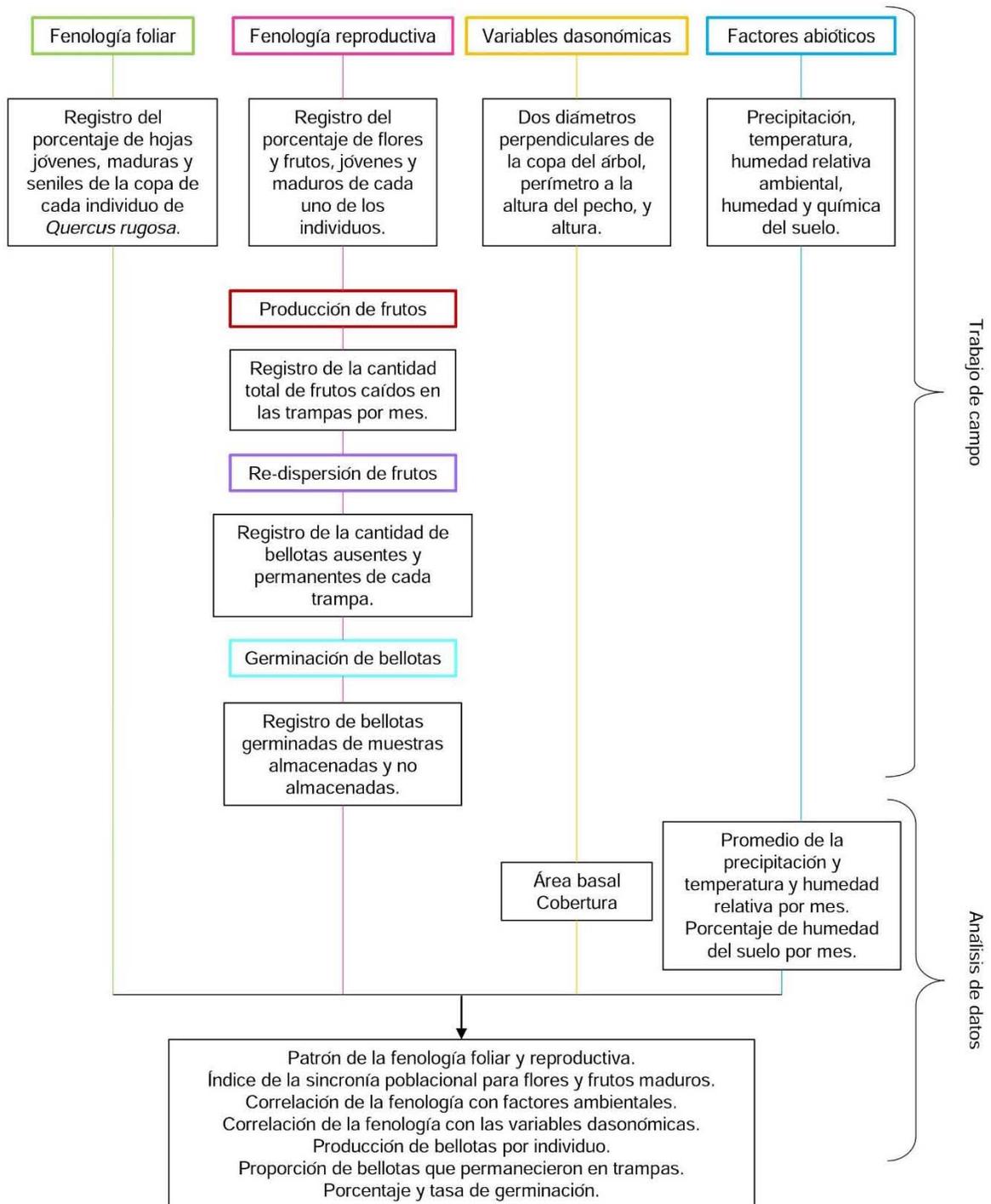


Figura 9. Diagrama de flujo del método.

Variables dasonómicas de los individuos

Para conocer la cobertura de cada individuo, se registró el diámetro mayor y el diámetro menor, perpendiculares entre sí, de la copa de cada árbol. Se utilizó un flexómetro para medir el perímetro a la altura del pecho (DAP a una altura de 1.3 m) (Mostacedo y Fredericksen, 2000). La altura de los individuos se obtuvo por medio de una pistola láser de medición Trimble Laser Ace 100 rangefinder.

Registro de la fenología foliar y reproductiva

Durante el periodo de abril de 2014 hasta mayo de 2015, a cada uno de los 30 individuos se les registró mensualmente a través de binoculares la proporción de hojas jóvenes, maduras y seniles; así como la proporción de flores y frutos jóvenes y maduros, utilizando una escala porcentual presente en el trabajo de Bonilla-Valencia (2014) (Cuadro 1).

Para ejemplificar el uso de esta escala, en la figura 10 se muestra como un 1 significa que del 1 al 10% de las ramas del encino presenta frutos jóvenes, mientras que un 5 significa que del 76 al 100% de las ramas los presentan; y de igual manera se aplicó esta escala con las demás fenofases tanto foliares como reproductivas.

Cabe resaltar que las bellotas de color verde se tomaron como frutos jóvenes, y las bellotas de color pardo como frutos maduros.

Cuadro 1. Escala fenológica. Tomado de Bonilla-Valencia, (2014).

Rango	Cantidad de estructuras
0	Ausencia de la característica
1	Presencia de la característica, con un intervalo desde 1-10%
2	Presencia de la característica, con un intervalo desde 11-25%
3	Presencia de la característica, con un intervalo desde 26-50%
4	Presencia de la característica, con un intervalo desde 51-75%
5	Presencia de la característica, con un intervalo desde 76-100%



1 → 1 a 10%

Vista de la rama



5 → 76 a 100%

Figura 10. Esquema ilustrativo donde se muestra como se aplicó la escala porcentual, en el caso de los frutos.

Producción de bellotas

Se registró mensualmente la cantidad de bellotas caídas en las 30 trampas colocadas bajo la copa de cada individuo. Además de registrar el total, se tomó en cuenta la condición en la que se encontraba la bellota, es decir, si era un fruto abortado, inmaduro, maduro, parasitado o depredado.

Re-dispersión

Se colectaron frutos y en seis trampas se dejaron disponibles 30 frutos sin signos de depredación, los cuales se marcaron con esmalte para uñas. La observación de la re-dispersión se llevó a cabo cada mes, después de colocar los frutos en las trampas. Se registró el número de bellotas que permanecieron en la trampa y su estado, es decir, si estaban depredadas, parasitadas o sin signos de daño; y se volvieron a colocar 30 bellotas marcadas y en buenas condiciones.

Germinación

Se recolectaron 400 bellotas maduras de la zona de estudio en el mes de enero, se separaron las que estaban parasitadas o depredadas. Solo las bellotas en buenas condiciones se pusieron a germinar en unas charolas de plástico (alrededor de 80 bellotas por charola), con vermiculita y posteriormente con tierra, y manteniendo una humedad constante.

Se recolectaron 200 bellotas maduras en el mes de febrero, se separaron las bellotas parasitadas o depredadas, para después ser almacenadas en una bolsa, a temperatura ambiente y en un lugar seco. Para el mes de junio se pusieron a germinar nuevamente en las charolas de plástico, con sustrato y tierra, y un riego constante.

Factores abióticos

Debido a que los factores ambientales tienen efecto sobre la fenología de *Quercus rugosa*, se registraron las variables abióticas del área de estudio. Para determinar

la temperatura y humedad relativa del sitio, se utilizó un sensor de temperatura y humedad ambientales HOBO-Data Logger, en la parte central de la parcela de muestreo sobre el tronco de un árbol.

El registro de la humedad del suelo, se llevó a cabo tomando tres muestras de suelo del área de estudio mensualmente, las cuales fueron pesadas y posteriormente secadas en un horno a 105° C, durante 48 horas para registrar el peso seco.

Para determinar la precipitación media de los meses en los que se realizó el estudio, se utilizaron los datos de dos estaciones meteorológicas cercanas, la estación Monte Alegre (longitud: -99.28, latitud: 19.22) y la estación P. T. Río Magdalena (longitud: -99.34, latitud: 19.31), además de los datos de precipitación media para el Distrito Federal tomados de CONAGUA-SMN.

Para conocer las propiedades químicas del suelo del área de estudio, se colectaron tres muestras de aproximadamente 250g de suelo y se enviaron al Colegio de Posgraduados de Chapingo (COLPOS) para determinar los parámetros edáficos de: pH [relación suelo CaCl₂ (1:2)], conductividad eléctrica, materia orgánica del suelo (MOS), Nitrógeno (N), Potasio (K) y Fósforo (P).

6.4 Análisis de datos

Fenología de *Quercus rugosa*

Para determinar los patrones de foliación, floración y fructificación se promediaron las proporciones de jóvenes y maduros de cada estructura que se registraron de los 30 individuos cada mes, y el porcentaje de individuos que presentaron estructuras reproductivas cada mes.

Índice de Sincronización

Se utilizaron las fórmulas de Augspurger (1983) para estimar la sincronía poblacional temporal de las estructuras reproductivas de los individuos de *Quercus rugosa*. Para ello se calculó primero la sincronía individual, que mide la superposición del tiempo de floración de un solo individuo contra el tiempo de floración de todos los demás individuos de la población.

$$X_i = \left(\frac{1}{n-1}\right) \left(\frac{1}{f_i}\right) \sum_{j=1}^n e_{j \neq i}$$

donde X_i = índice de sincronización para un individuo i ; e_i = número de días del individuo i e individuo j que son sincrónicos en la floración; f_i = número de días de la floración del individuo i ; n = número de individuos en la población. Si $X = 1$, ocurre una sincronía perfecta en la población, mientras que si $X = 0$, no hay sincronía en la población.

El promedio de los 30 valores de sincronía individual, dio como resultado la sincronía poblacional, que es la cantidad de superposición de todos los días en los que todos los individuos de *Quercus rugosa* presentaron flores, entre cada individuo de la población (Augspurger, 1983).

$$Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

donde Z= índice de la sincronía poblacional; n= número de individuos en la población; X_i = índice de sincronización del individuo i con los demás individuos de la población.

Las anteriores dos fórmulas se usaron también para estimar la sincronización de la fenofase de frutos maduros de los 30 individuos de *Quercus rugosa*.

Variables dasonómicas

Se calculó las coberturas de los 30 individuos, bajo el supuesto de que la forma de la copa del árbol tiende a ser circular, de acuerdo con la siguiente fórmula (Ramírez-González, 2006):

$$C = \pi [(Diámetro mayor + Diámetro menor) / 4]^2$$

donde, C = cobertura y $\pi = 3.1416$.

El área basal, expresada en unidades de superficie, se utilizó para determinar la biomasa de los individuos de *Quercus rugosa* y se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula (Ramírez-González, 2006):

$$AB = \frac{PAP^2}{4\pi}$$

donde, AB = área basal; PAP = perímetro a la altura del pecho; $\pi = 3.1416$.

Producción de bellotas

Para determinar la cantidad total de bellotas producidas por individuo, se utilizó el método de González y Parrado (2010), sumando el registro mensual del número de frutos caídos en las trampas. Teniendo en cuenta que las trampas eran circulares y tenían 0.5m de diámetro, se calculó el área de ésta, y se extrapolo el aporte total de las bellotas caídas en estas trampas, al área de la cobertura de cada árbol.

Germinación

Para calcular el porcentaje de germinación, se realizó el registro de la cantidad de bellotas cuya radícula emergía cada día, usando la siguiente fórmula:

$$PG = (BG * 100) / NBS$$

donde, PG = porcentaje de germinación, BG = bellotas germinadas, NBS = número de bellotas sembradas.

Para estimar la tasa de germinación de las bellotas que fueron almacenadas y no almacenadas, se utilizó la siguiente fórmula:

$$TG = (N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_xT_x) / NBS$$

Donde, TG = tasa de germinación, N = número de bellotas germinadas en cada intervalo de tiempo, T = tiempo transcurrido entre el inicio de la prueba y el fin del intervalo, NBS = número de bellotas sembradas.

Factores abióticos

Los datos de temperatura y humedad ambiental obtenidos a lo largo del estudio, se utilizaron para calcular el promedio mensual de ambas variables con sus desviaciones estándar.

Para conocer el contenido de humedad de las muestras de suelo recolectadas se calculó, mediante el método gravimétrico, el cual consiste en expresar el porcentaje de la humedad del suelo, en relación con el peso del suelo húmedo y el peso del suelo seco, con la siguiente fórmula (Bonilla-Valencia, 2014).

$$H = \left(\frac{Pehu - Pese}{Pese} \right) \times 100$$

donde, H = porcentaje de humedad del suelo; Pehu = peso húmedo y Pese = peso seco.

Análisis estadístico

Para determinar si las variables dasonómicas, ambientales y las proporciones mensuales de las fenofases foliares y reproductivas se distribuyen normalmente, se utilizó el programa STATISTICA versión 7 (StatSoft Inc, 2007) y la prueba de Shapiro-Wilk. Como las proporciones de las fenofases no se distribuyeron normalmente, se realizó una prueba no paramétrica, el coeficiente de correlación de Spearman (Zar, 1999), con un α de 0.05, entre las variables dasonómicas y las proporciones de hojas, flores y frutos.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés), entre las variables dasonómicas de los individuos y las diferentes proporciones de las fenofases de hojas, flores y frutos para temporada de secas y de lluvias, utilizando el programa PC-ORD versión 5.10 (Mc Cune y Mefford, 2006). También se realizó un PCA con las diferentes fenofases de los frutos y la proporción de bellotas encontradas en las trampas en diferentes condiciones (abortadas, inmaduras, maduras, parasitadas o depredadas).

También se llevaron a cabo correlaciones de Spearman para estimar cuál de las variables abióticas del área de estudio (temperatura, humedad ambiental, precipitación y humedad del suelo) influye significativamente en alguna de las fenofases vegetativas y reproductivas de *Q. rugosa*. En cuanto a las propiedades químicas del suelo, se realizó una prueba U de Mann-Whitney, nuevamente con el programa STATISTICA (StatSoft Inc, 2007), para determinar si había diferencias significativas de estas variables entre temporadas.

7. Resultados

7.1 Fenología foliar de *Quercus rugosa*.

Durante la temporada de lluvias, cuando la precipitación es mayor y se presentan las temperaturas más cálidas del año, hay un incremento en el porcentaje de hojas maduras. Aunque se puede observar que *Quercus rugosa* es una especie subperennifolia, ya que mantiene estas hojas maduras durante todo el año, pero disminuyen durante la temporada de secas.

Por otro lado, las hojas jóvenes son producidas en mayor proporción antes de los meses con mayor precipitación, alcanzando el pico máximo en el mes de mayo. Las hojas seniles alcanzan su máxima proporción durante la temporada de secas, especialmente en enero cuando la precipitación fue nula, y la temperatura fue de 8 °C, la más fría del año.

De igual manera, las hojas maduras se encuentran en mayor proporción cuando los valores de humedad relativa son mayores que 90%, aunque parecen constantes a través del año, es en temporada de lluvias cuando el porcentaje de humedad del aire, al igual que el porcentaje de humedad del suelo incrementan.

La proporción de hojas jóvenes incrementa conforme la humedad relativa ambiental y la humedad del suelo aumentan de abril a mayo, antes de iniciar la temporada de lluvias. Por el contrario, la mayor proporción de las hojas seniles se encuentra durante los meses con valores bajos de humedad en el suelo, menores que 60% (Fig. 11).

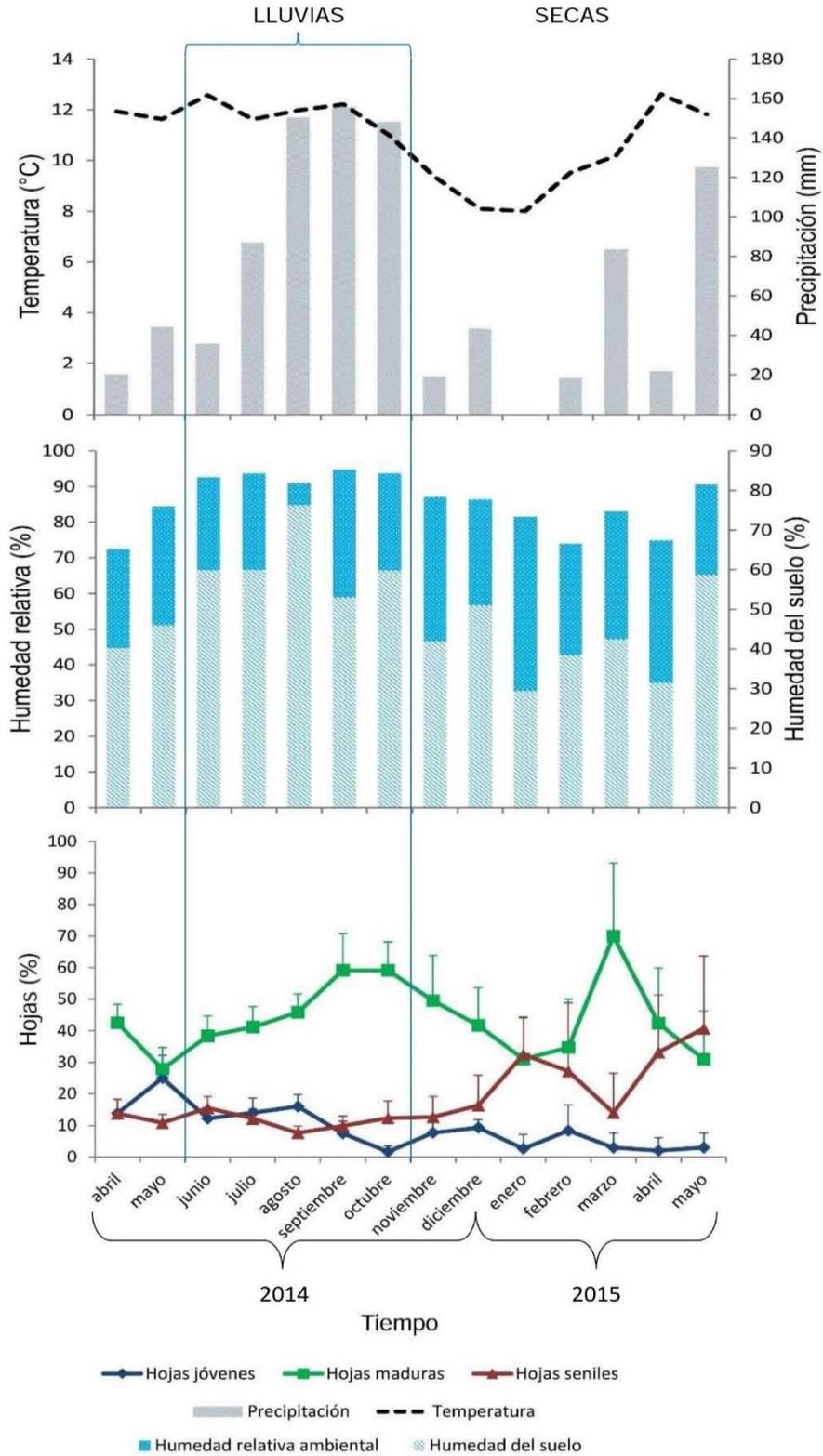


Figura 11. Proporción de las fenofases foliares y los factores ambientales mensuales ($\bar{x} + EE$).

7.2 Relación entre la fenología vegetativa de *Quercus rugosa* y las variables abióticas.

Los resultados de las correlaciones de Spearman mostraron que la mayoría de las fenofases foliares con respecto a las variables ambientales no tuvieron una relación significativa. La proporción de hojas seniles de *Q. rugosa* es la más sensible a la humedad de la zona de estudio, ya que entre menos precipitación y menos porcentaje de humedad en el suelo, el porcentaje de hojas seniles es mayor, ya que la correlación entre estas variables fue negativa y significativa ($r_s = -0.56$ precipitación, $r_s = -0.54$ humedad de suelo, $p < 0.05$).

Por otro lado, entre mayor porcentaje de hojas seniles, hay también un mayor porcentaje de frutos maduros, ya que su correlación fue positiva y significativa ($r_s = 0.73$; $p < 0.05$). En cuanto a las propias variables ambientales, a mayor precipitación, aumenta la humedad del suelo y la humedad relativa ambiental (Cuadro 2) (Apéndice 7).

Cuadro 2. Presenta el valor de r en las correlaciones de Spearman entre las fenofases foliares y las variables ambientales que fueron significativas; $p < 0.05$.

	Porcentaje de frutos maduros	Precipitación	Humedad del suelo
Porcentaje de hojas seniles	0.7329	-0.5604	-0.5385
Precipitación			0.7846
Humedad relativa		0.7582	0.8242

7.3 Relación entre la fenología vegetativa de *Quercus rugosa* y las variables dasonómicas.

Las correlaciones de Spearman entre las fenofases foliares y las variables dasonómicas, mostraron que a mayor altura hay mayor porcentaje de hojas maduras tanto en temporada de lluvias como en temporada de secas, ya que la variable de altura se correlacionó de forma significativa y positiva con respecto a la variable de hojas maduras en lluvias de 2014 ($r_s = 0.38$; $p < 0.05$) y hojas maduras en secas de 2015 ($r_s = 0.60$; $p < 0.05$), mientras que la correlación entre la altura con respecto a las hojas seniles en secas del 2015 fue significativa y negativa ($r_s = -0.47$; $p < 0.05$).

Los árboles con mayor área basal tuvieron una mayor cobertura y un menor porcentaje de hojas jóvenes durante la temporada de secas. El área basal presentó una correlación alta y positiva con la variable de cobertura ($r_s = 0.73$; $p < 0.05$), y una correlación baja y negativa con el porcentaje de hojas jóvenes en temporada de secas de 2015 ($r_s = -0.39$, $p < 0.05$).

Por otro lado, a una mayor cobertura hay una baja proporción de hojas seniles en temporada de secas, ya que estas variables tiene una relación significativa y negativa ($r_s = -0.44$, $p < 0.05$), como se muestra en el cuadro 3.

Cuando se presentan altos porcentajes de hojas maduras en cualquiera de las dos temporadas, las proporciones de hojas jóvenes y seniles son menores (ver Cuadro 3), mientras que a una mayor proporción de hojas maduras en lluvias de

2014, también hay una alta proporción de esta fenofase en la temporada de secas del 2015 ($r_s = 0.50$, $p < 0.05$) (Apéndice 4).

Cuadro 3. Presenta el valor de r en las correlaciones de Spearman entre las variables dasonómicas de los individuos y las proporciones de las fenofases vegetativas que fueron significativas; $p < 0.05$.

	Altura	Área basal	Hojas maduras en secas de 2014	Hojas seniles en secas de 2014	Hojas maduras en lluvias de 2014	Hojas maduras en secas de 2015
Cobertura		0.7308		-0.4443		
Hojas jóvenes en lluvias de 2014					-0.3931	
Hojas maduras en lluvias de 2014	0.3834					
Hojas seniles en lluvias de 2014					-0.4430	
Hojas jóvenes en secas de 2015		-0.3854				
Hojas maduras en secas de 2015	0.6018			-0.4250	0.5027	
Hojas seniles en secas de 2015	-0.4742		-0.4315			-0.7248

Los resultados del análisis de componentes principales (PCA) muestran que se asociaron las variables de altura, cobertura y área basal con las proporciones de las diferentes fenofases vegetativas, cuyos componentes explican el 48.39% de la variabilidad total. El análisis mostró que las variables de mayor correspondencia fueron la altura, el área basal y la cobertura, a este componente se relacionaron positivamente los individuos 15, 3 y 7, que se caracterizan por ser individuos con altos valores en estas tres variables. De manera negativa a este componente, se relacionan los individuos 1, 6, 13, y 21 con mayores proporciones de hojas jóvenes, y los individuos 9, 22, 24 y 25, que presentan altas proporciones de hojas seniles en ambas temporadas (Fig. 12). En el PCA, a los individuos que presentaron los mayores valores de cada variable dasonómica se les colocó una figura de color, y

se añadió un cuadro en la esquina superior derecha, para apreciar como los individuos se relacionan con los componentes.

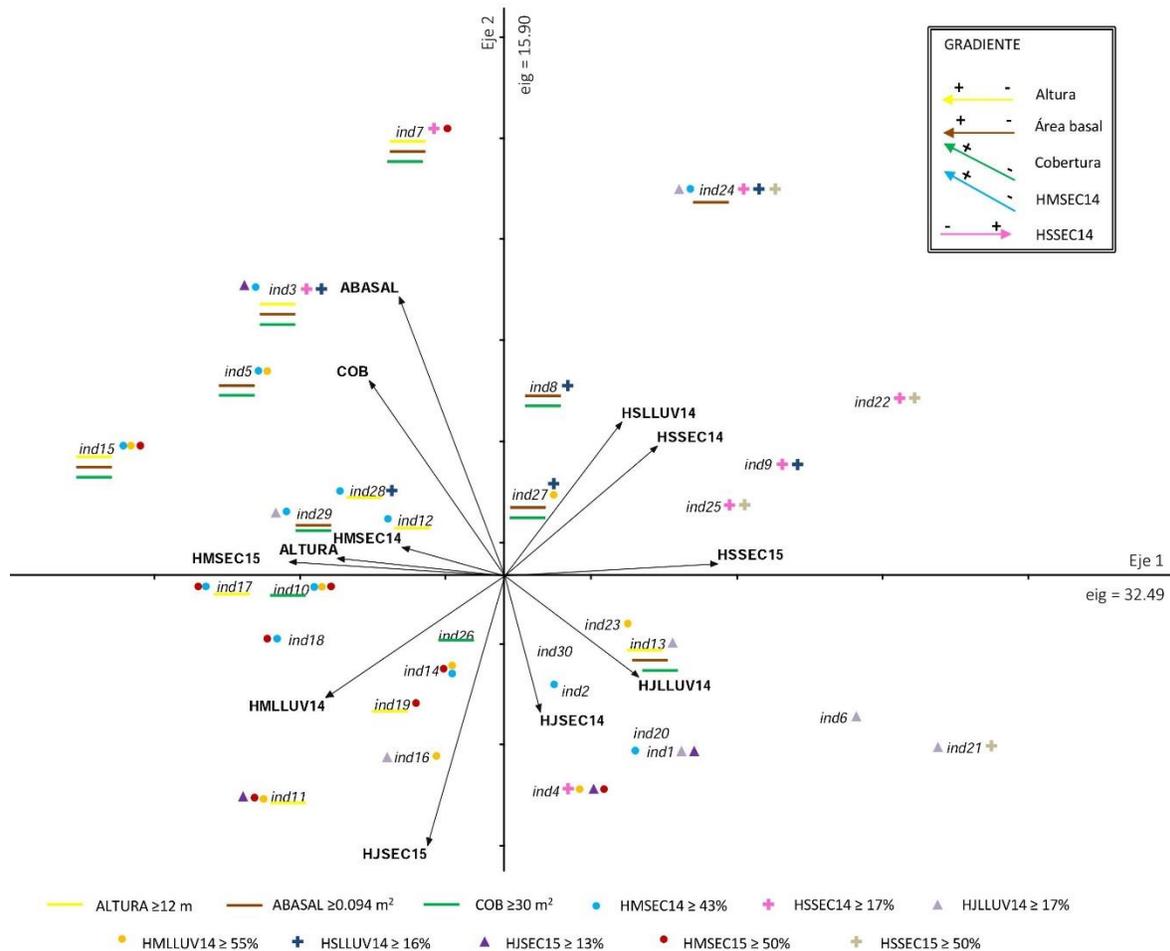


Figura 12. Análisis de Componentes Principales de la fenología vegetativa de *Q. rugosa* y las variables dasonómicas de los individuos; ind=individuo, COB=cobertura, ABASAL=área basal, HJSEC14=hojas jóvenes en secas 2014, HJLLUV14=hojas jóvenes en lluvias 2014, HJSEC15= hojas jóvenes en secas 2015, HMSEC14=hojas maduras en secas 2014, HMLLUV14=hojas maduras en lluvias 2014, HMSEC15= hojas maduras en secas 2015, HSSEC14=hojas seniles en secas 2014, HSLLUV14=hojas seniles en lluvias 2014 y HSSEC15=hojas seniles en secas 2015.

7.4 Fenología de las flores de *Quercus rugosa*.

La mayor producción de flores maduras de *Quercus rugosa* se observó entre abril y mayo, antes de iniciar la temporada de lluvias; cuando las temperaturas fueron cálidas (12°C) y la precipitación fue mínima. Además, el pico máximo de porcentaje de flores maduras se dio en abril, con una humedad relativa baja, de alrededor del 70%, y cuando la humedad del suelo también fue baja, con un 40%.

Las flores jóvenes también se presentaron entre abril y mayo, antes de iniciar la temporada de lluvias, meses donde la temperatura incrementa (de 10° a 12°C). De igual manera, la mayor proporción de flores jóvenes, se encontró en los meses que presentaron los menores valores de humedad relativa ambiental y humedad del suelo. Sin embargo, ambas fenofases florales, se presentan durante lapsos muy cortos de tiempo, de apenas tres meses.

Además, en el presente estudio se observó una disminución en la proporción de flores maduras en el mes de mayo de 2015, que a diferencia de mayo de 2014 se presentó una precipitación más intensa (Figura 13).

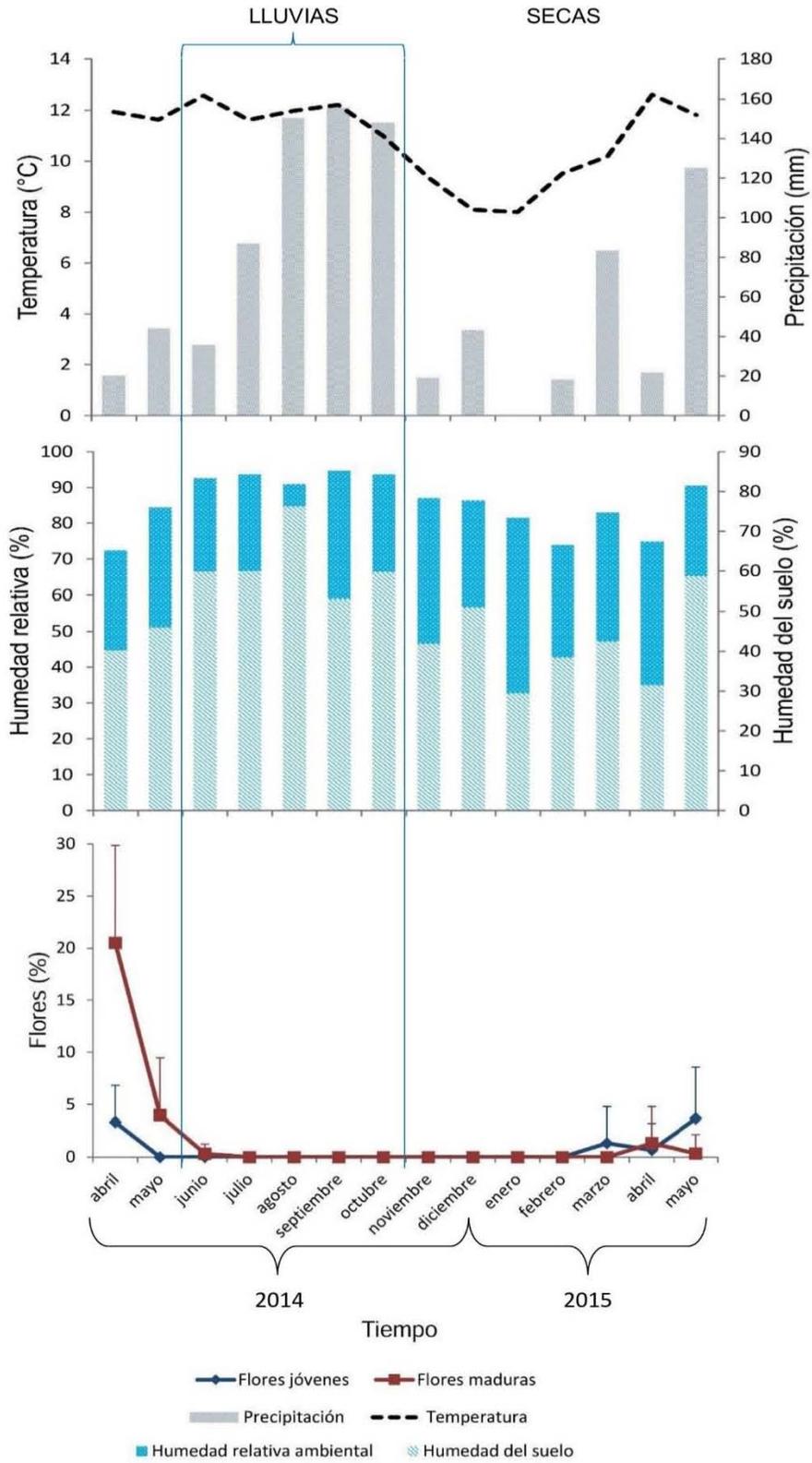


Figura 13. Proporción de las fenofases florales y los factores ambientales de cada mes ($\bar{x} + EE$).

7.5 Relación entre las fenofases florales de *Quercus rugosa* y las variables abióticas.

Los resultados de las correlaciones de Spearman, muestran que a una mayor temperatura se presenta un mayor porcentaje de flores maduras, ya que mantienen una relación positiva y significativa ($r_s = 0.56$, $p < 0.05$). De igual forma, entre mayor fue el porcentaje de flores jóvenes, hubo más flores maduras, ya que se correlacionan positiva y significativamente ($r_s = 0.56$, $p < 0.05$). Por otro lado, cuando disminuyó el porcentaje de flores jóvenes, el porcentaje de frutos jóvenes aumentó, ya que están significativa e inversamente correlacionadas éstas variables ($r_s = -0.78$, $p < 0.05$) (Cuadro 4) (Apéndice 7).

Cuadro 4. Presenta el valor de r en las correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y las proporciones de las fenofases florales que fueron significativas ($p < 0.05$).

	Flores maduras	Frutos jóvenes
Flores jóvenes	0.558249	-0.779762
Temperatura	0.555817	

7.6 Relación entre las fenofases florales de *Quercus rugosa* y las variables dasonómicas.

Las flores se encontraron en mayor proporción cuando la cobertura de los árboles también fue mayor, ya que esta variable tuvo una correlación positiva con respecto a las flores maduras en la temporada de secas de 2014 ($r_s = 0.73$, $p < 0.05$), así como una relación positiva con respecto a las flores jóvenes en temporada de secas de

2014 y con las flores maduras en temporada de secas de 2015 ($r_s = 0.36$, $r_s = 0.37$ respectivamente, $p < 0.05$).

A mayor área basal y cobertura, se observa un mayor índice de sincronización individual para las flores, ya que tienen una correlación positiva ($r_s = 0.45$ área basal, $r_s = 0.42$ cobertura, $p < 0.05$). También hay una mayor sincronización entre las flores maduras en temporada de secas de 2014, ya que las variables del índice de sincronización individual y la proporción de flores maduras en la temporada de secas de 2014 fue positiva y significativa ($r_s = 0.39$, $p < 0.05$).

El resultado de las correlaciones entre las fenofases de flores jóvenes y maduras separadas por años muestra, nuevamente, que a mayor producción de flores jóvenes hay una mayor proporción de flores maduras, tanto en 2014 como en 2015, ya que están correlacionadas de manera positiva y significativa (ver Cuadro 5) (Apéndice 5).

Cuadro 5. Presenta el valor de r en las correlaciones de Spearman entre las variables dasonómicas de los individuos y las proporciones de las fenofases florales que fueron significativas ($p < 0.05$).

	Cobertura	Índice de sincronización individual	Flores jóvenes en secas de 2014	Flores jóvenes en secas de 2015
Área basal	0.730812	0.445755		
Cobertura		0.423090	0.364919	
Flores maduras en secas de 2014	0.726166	0.385448	0.551940	
Flores maduras en secas de 2015	0.366846			0.511408

En el análisis de componentes principales (PCA), se asociaron las variables de cobertura, área basal e índice de sincronización individual con las proporciones de las fenofases florales, cuyos componentes explican 54.81% de la variabilidad

total. Las variables con mayor correspondencia fueron las variables de las fenofases florales, los individuos 10, 29 y 30 se relacionaron positivamente con este componente, ya que presentaron las mayores proporciones de flores jóvenes y maduras en ambos años. De manera negativa a este componente, se relacionaron las variables dasonómicas de los individuos y el índice de sincronización individual, de los individuos 3, 5, 7, 8 y 15 que presentaron altos valores de cobertura y área basal. Los individuos 1, 4, 21 y 24 no parecen estar caracterizados por alguna de las variables puesto que no presentaron flores en ambos años (Fig. 14). En el PCA éstos individuos se encerraron en círculos rojos, y los individuos que presentaron altos valores en alguna de las variables dasonómicas o fenológicas se les agregó una figura de color, y el cuadro añadido nos indica que los individuos con mayor proporción de flores maduras se encuentran en la parte superior del eje 2, mientras que los individuos con mayor proporción de flores jóvenes se encuentran del lado izquierdo del eje 1.

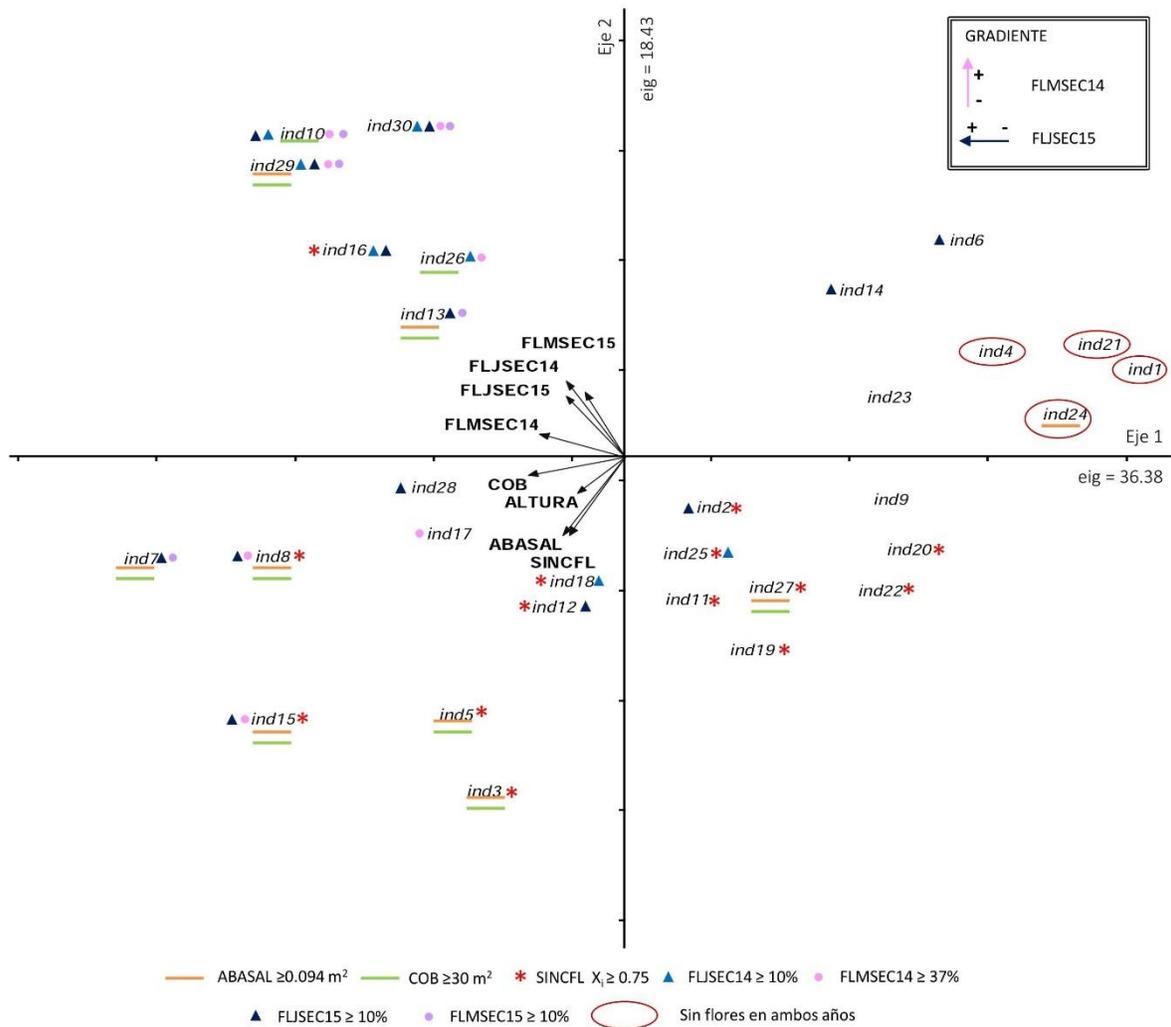


Figura 14. Análisis de Componentes Principales de la fenología floral de *Q. rugosa* y las variables dasonómicas de los individuos; ind=individuo, COB=cobertura, ABASAL= área basal, SINCFL=índice de sincronización individual, FLJSEC14=flores jóvenes en secas de 2014, FLMSEC14=flores maduras en secas de 2014, FLJSEC15=flores jóvenes en secas de 2015, FLMSEC15=flores maduras en temporada de secas de 2015.

7.7 Proporción de individuos con flores maduras.

La floración fue de poca duración, entre los meses de abril a junio, sin embargo, sobresale el mes de abril, ya que la mayoría de los individuos (77%) presentó la mayor proporción de flores maduras. Así mismo el índice de la sincronía poblacional para la fenofase de flores maduras fue moderado, con una Z de 0.48 siendo 1 el valor máximo (Fig. 15).

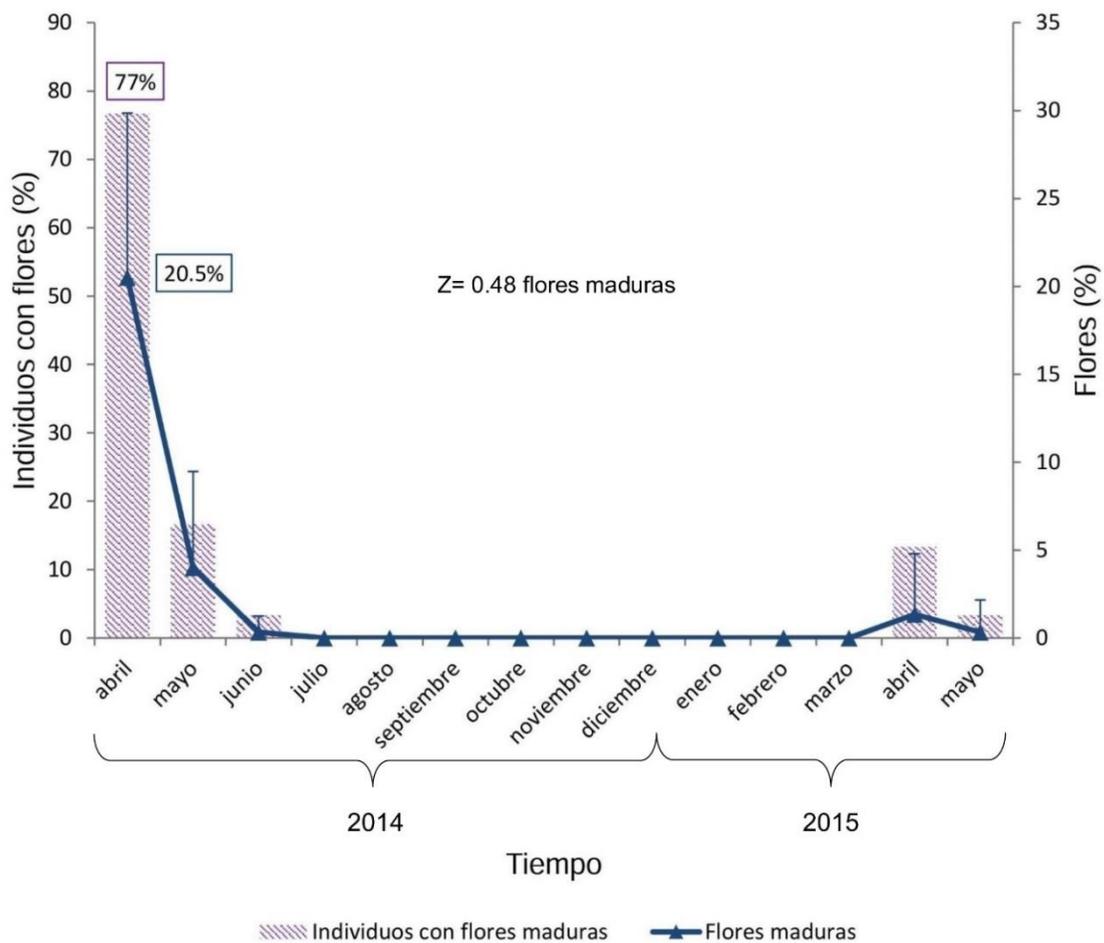


Figura 15. Porcentaje de individuos que presentaron flores maduras en barras, y porcentaje de flores maduras producidas en cada mes ($\bar{x} + EE$) en línea, además se muestra el índice de sincronización (Z).

7.8 Fenología de los frutos de *Quercus rugosa*.

Los frutos maduros se presentaron en mayor proporción durante la temporada de secas, alcanzando el pico máximo de fructificación en el mes de enero, cuando la precipitación fue nula y la temperatura fue mínima (8°C). Por otro lado, los frutos jóvenes estuvieron presentes casi todo el año, aunque en los meses con mayor precipitación y temperaturas cálidas se encontraron en bajas proporciones, pero constantes.

Los mayores porcentajes de frutos maduros se presentaron cuando la humedad relativa ambiental disminuyó hasta un 80%, y la humedad del suelo alcanzó menos del 40%. Los porcentajes de frutos jóvenes se incrementaron de abril a mayo conforme la humedad relativa y la humedad del suelo también aumentaron, un mes antes de iniciar la temporada de lluvias (Fig. 16).

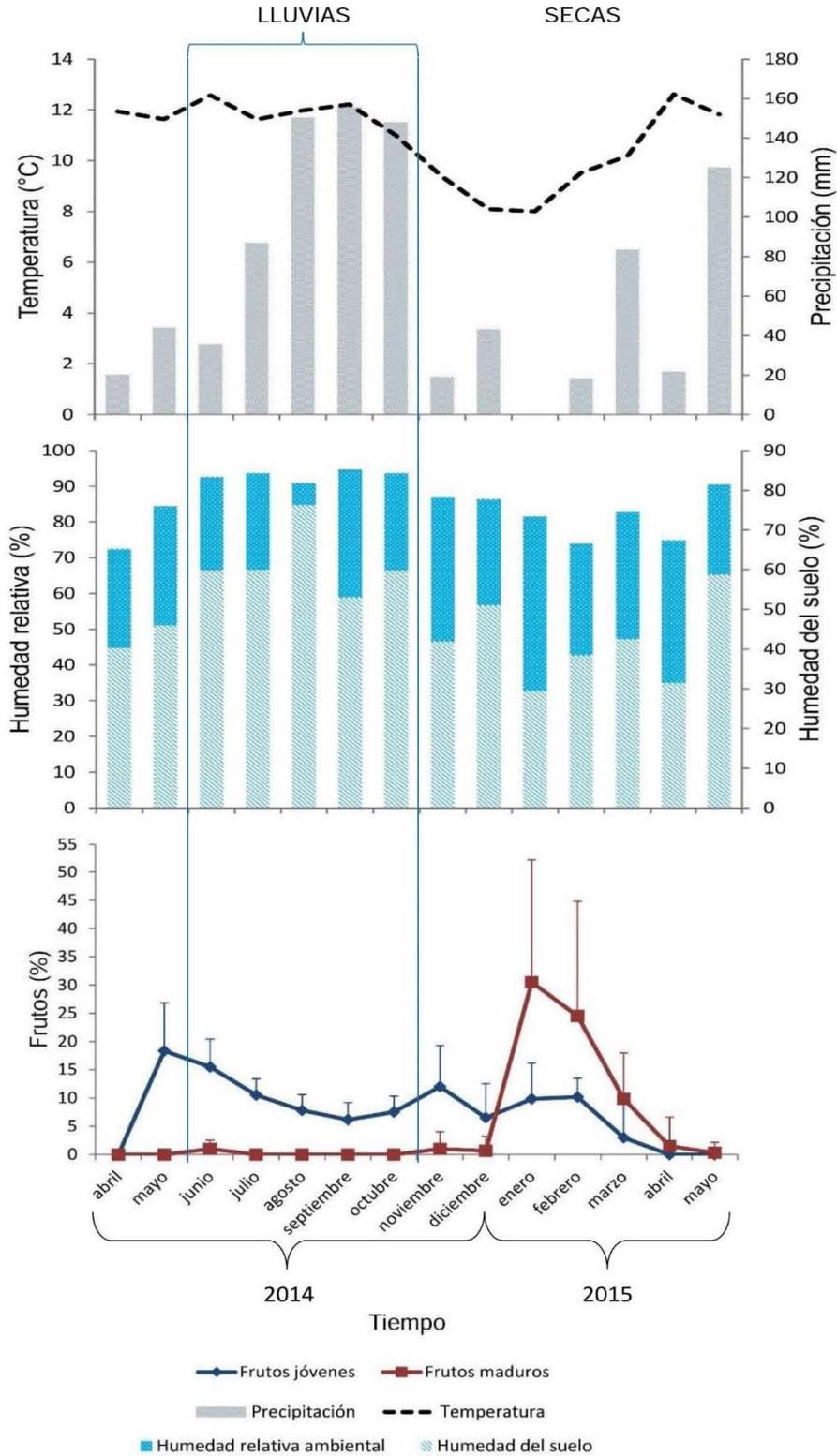


Figura 16. Proporción de las fenofases de los frutos y los factores ambientales de cada mes ($\bar{x} + EE$).

7.9 Relación entre las fenofases de los frutos de *Quercus rugosa* y las variables abióticas.

La fenofase de frutos jóvenes no tuvo una relación significativa con las variables ambientales, solo la fenofase de frutos maduros se muestra sensible ante los cambios ambientales.

Con los resultados de las correlaciones de Spearman se corrobora nuevamente que hay un mayor porcentaje de frutos maduros entre menor sea el porcentaje de humedad de suelo y de humedad relativa, y cuando disminuye la precipitación, ya que estas variables se correlacionan significativa y negativamente (Cuadro 6) (Apéndice 7).

Cuadro 6. Presenta los valores de r en las correlaciones de Spearman entre las fenofases de los frutos y las variables ambientales que fueron significativas ($p < 0.05$).

	Humedad relativa	Precipitación	Humedad del suelo
Porcentaje de frutos maduros	-0.535924	-0.698533	-0.650438

7.10 Relación entre las fenofases de los frutos de *Quercus rugosa* y las variables dasonómicas.

Los frutos jóvenes en temporada de secas se encontraron en mayor proporción cuando la altura de los árboles era mayor, mientras que en temporada de lluvias se encontraron en mayor proporción cuando la cobertura era mayor, ya que en las correlaciones de Spearman se observó una relación positiva y significativa entre la altura y los frutos jóvenes en temporada de secas de 2014 ($r_s = 0.38$, $p < 0.05$), así como entre la cobertura y los frutos jóvenes en temporada de lluvias de 2014 ($r_s =$

0.37, $p < 0.05$). Sin embargo, se encontraron menores porcentajes de frutos jóvenes en temporada de secas de 2015 cuando los valores de área basal eran menores ($r_s = 0.37$, $p < 0.05$).

Por otro lado, la producción de frutos maduros en el año 2014 fue de nula a bajas proporciones, por lo que los frutos maduros de ambas temporadas tuvieron una relación negativa y significativa con el índice de sincronización individual ($r_s = -0.54$ frutos maduros en secas de 2014, $r_s = -0.46$ frutos maduros en lluvias de 2014, $p < 0.05$) (Cuadro 7) (Apéndice 6).

Cuadro 7. Presenta los valores de r en las correlaciones de Spearman entre las variables dasonómicas de los individuos y las proporciones de los frutos que fueron significativas ($p < 0.05$).

	Altura	Área basal	Cobertura	Índice de sincronización individual
Cobertura		0.730812		
Frutos jóvenes en secas de 2014	0.376943			
Frutos maduros en secas de 2014				-0.544467
Frutos jóvenes en lluvias de 2014			0.371849	
Frutos maduros en lluvias de 2014				-0.461013
Frutos jóvenes en secas de 2015		0.365256		

En el análisis de componentes principales realizado, cuyos componentes explican el 32.20% de la variabilidad total; se puede observar que la proporción de frutos maduros en temporada de secas tuvo una mayor correspondencia, siendo los individuos 23, 21 y 25 los individuos que se relacionaron positivamente a este componente, ya que se caracterizaron por tener altos porcentajes de frutos maduros

en temporada de secas de 2014 y 2015. De forma negativa a este componente se relacionan los individuos que tienen una mayor correspondencia con las variables dasonómicas, como los individuos 3, 7, 13 y 15, que presentaron los valores más altos en cobertura, área basal y altura. Por otro lado, los individuos 4, 6, 9 y 30 se relacionaron positivamente con la variable del índice de sincronización individual, mientras que los individuos 16, 18 y 26 tuvieron una mayor relación con la variable de la proporción de frutos jóvenes en temporada de lluvias de 2014 (Fig. 17). En el PCA, a los individuos que presentaron valores altos en alguna de las variables dasonómicas o de fenológicas se les agregó una figura de color, y el cuadro superior derecho, indica que los individuos con mayor altura, cobertura y alta proporción de frutos jóvenes en secas de 2014, se encuentran en la parte derecha del eje 1.

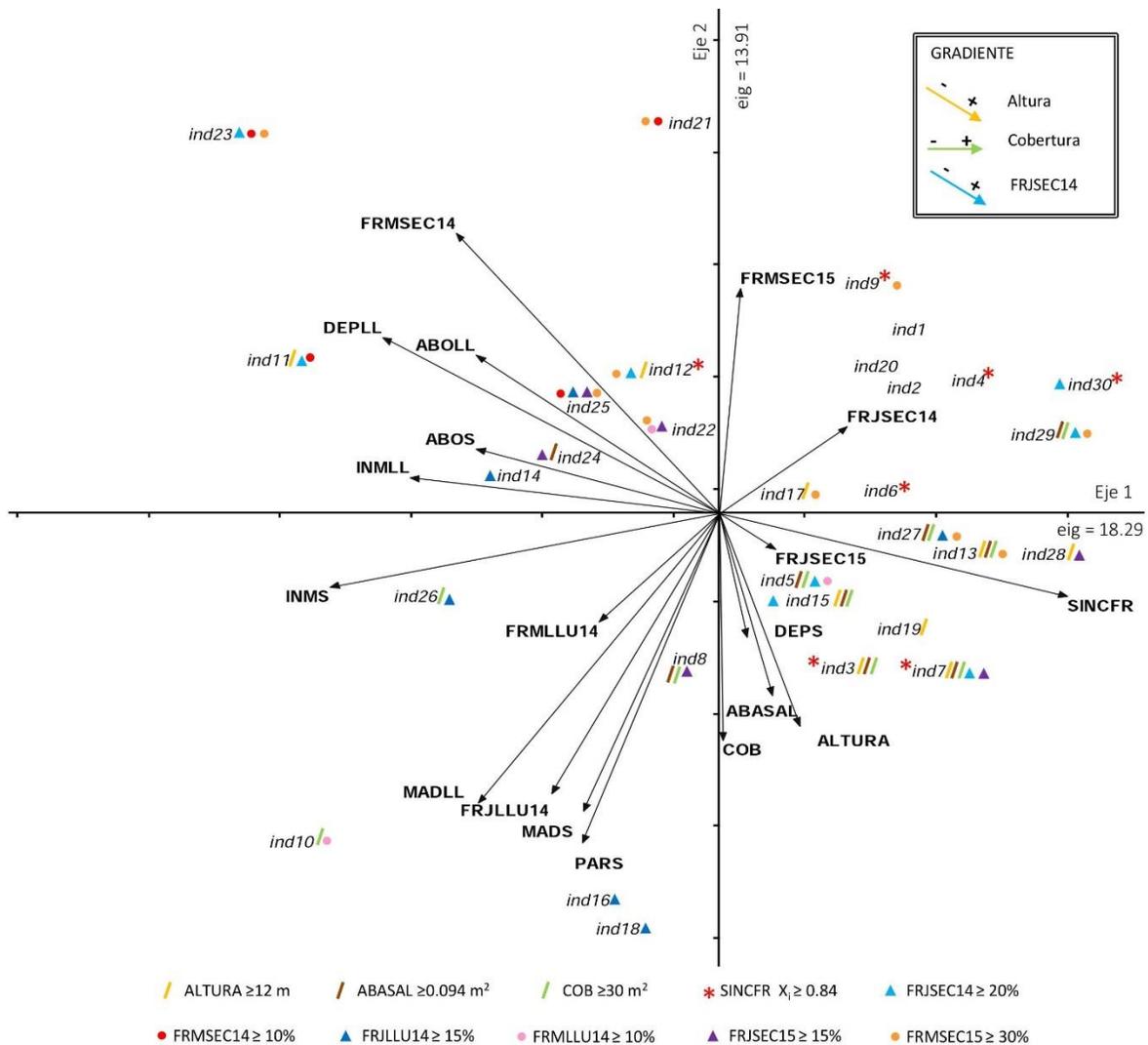


Figura 17. Análisis de Componentes Principales de las fenofases de los frutos de *Q. rugosa* y las variables dasonómicas de los individuos; ind=individuo, COB=cobertura, ABASAL=área basal, SINCFR=índice de sincronización individual, FRJSEC14=frutos jóvenes en secas 2014, FRJLLU14=frutos jóvenes en lluvias de 2014, FRJSEC15=frutos jóvenes en secas 2015, FRMSEC14=frutos maduros en secas 2014, FRMLLU14=frutos maduros en lluvias 2014, FRMSEC15=frutos maduros en secas 2015.

7.11 **Relación entre las fenofases de los frutos de *Quercus rugosa* y las bellotas encontradas en las trampas.**

Las correlaciones entre las diferentes fenofases de los frutos y las bellotas que se encontraron en las trampas, mostraron una alta proporción de frutos jóvenes en las copas de los árboles durante la temporada de secas en 2014, para la temporada de lluvias de 2014 se presentó una baja cantidad de frutos maduros dentro de las trampas, por lo que éstas variables se correlacionan negativamente ($r_s = -0.38$, $p < 0.05$), y una correlación positiva ($r_s = 0.56$, $p < 0.05$), entre los frutos maduros de las copas de los árboles en temporada de secas de 2014, y los frutos depredados dentro de las trampas.

La proporción de frutos jóvenes de las copas de los árboles durante la temporada de lluvias de 2014, se correlacionó positivamente con la cantidad de frutos inmaduros y parasitados encontrados dentro de las trampas en secas de 2015 ($r_s = 0.42$ frutos inmaduros, $r_s = 0.39$ $p < 0.05$). Asimismo, los frutos maduros encontrados en las trampas en la temporada de lluvias de 2014 también se correlacionaron positivamente con la proporción de frutos jóvenes de las copas de los árboles en temporada de lluvias de 2014 ($r_s = 0.58$, $p < 0.05$) (Cuadro 8).

Por otro lado, a mayor proporción de frutos maduros en las copas de los árboles en temporada de secas del 2015, se encuentra una menor cantidad de frutos maduros dentro de las trampas en temporada de lluvias del año anterior ($r_s = -0.38$, $p < 0.05$).

En temporada de secas a mayor cantidad de bellotas abortadas encontradas en las trampas, mayor cantidad de frutos inmaduros, presentando una correlación positiva entre estas variables ($r_s=0.48$, $p<0.05$). Al igual que en temporada de lluvias, la cantidad de frutos abortados e inmaduros encontrados en las trampas se correlacionaron positivamente ($r_s=0.40$, $p<0.05$)

Mientras mayor fue la cantidad de frutos maduros encontrados en las trampas en temporadas de secas, también se observó una mayor cantidad de frutos depredados y parasitados durante la misma temporada ($r_s=0.56$ frutos depredados, $r_s=0.52$ frutos parasitados, $p<0.05$).

Así mismo, a mayor cantidad de frutos depredados en las trampas durante la temporada de secas, se encontraron más frutos parasitados durante la misma temporada ($r_s=0.40$, $p<0.05$) (Cuadro 8) (Apéndice 6).

Cuadro 8. Presentaron los valores de r en las correlaciones de Spearman entre las proporciones de las fenofases de los frutos y las bellotas que se encontraron en las trampas que fueron significativas; $p < 0.05$.

	No. de frutos inmaduros en secas (trampas)	No. de frutos maduros en secas (trampas)	No. de frutos parasitados en secas (trampas)	No. de frutos inmaduros en lluvias (trampas)	No. de frutos maduros en lluvias (trampas)	No. de frutos depredados en lluvias (trampas)
Índice de sincronización individual	-0.376633					-0.430876
Frutos jóvenes en secas de 2014					-0.381273	
Frutos maduros en secas de 2014						0.561886
Frutos jóvenes en lluvias de 2014	0.417033		0.393395		0.580075	
Frutos maduros en secas de 2015					-0.383783	
No. de frutos abortados en secas (trampas)	0.475549			0.572722		
No. de frutos inmaduros en secas (trampas)		0.527390			0.395156	
No. de frutos depredados en secas (trampas)		0.555501	0.395152			
No. de frutos parasitados en secas (trampas)		0.523828				
No. de frutos abortados en lluvias (trampas)				0.400647		

Los resultados del PCA muestran que los componentes explican el 32.20% de la variabilidad total, siendo la variable de frutos maduros en secas de 2014 la que tuvo mayor correspondencia. Los individuos 11, 21 y 23 se relacionaron positivamente a este componente, ya que éstos presentaron la mayor proporción de frutos maduros en temporada de secas de 2014 y en las trampas la mayor cantidad de frutos depredados en temporada de lluvias. De forma negativa a este componente la variable de frutos jóvenes en lluvias de 2014 fue la que tuvo mayor correspondencia, siendo los individuos 16, 18 y 26 quienes mostraron un mayor porcentaje de frutos jóvenes en lluvias de 2014 y la mayor cantidad de frutos maduros en las trampas, tanto en temporada de lluvias como en temporada de secas (Fig. 18).

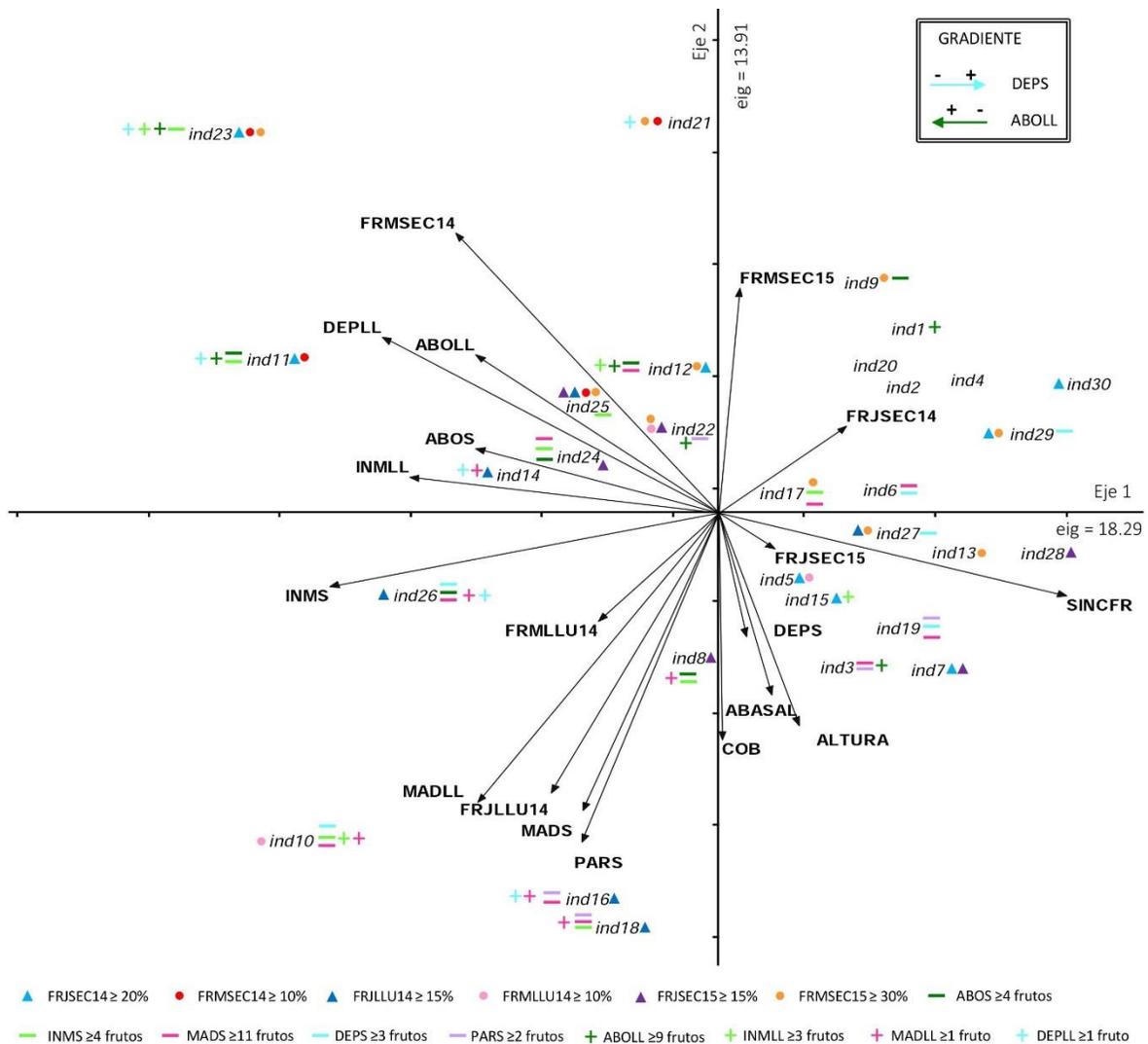


Figura 18. Análisis de componentes principales de las fenofases de los frutos de *Q. rugosa* y las bellotas encontradas en las trampas; ind=individuo, FRJSEC14=frutos jóvenes en secas 2014, FRJLLU14=frutos jóvenes en lluvias de 2014, FRJSEC15=frutos jóvenes en secas 2015, FRMSEC14=frutos maduros en secas 2014, FRMLLU14=frutos maduros en lluvias 2014, FRMSEC15=frutos maduros en secas 2015, ABOLL=frutos abortados en lluvias (trampa), INMML=frutos inmaduros en lluvias (trampa), MADLL=frutos maduros en lluvias (trampa), DEPLL=frutos depredados en lluvias (trampa), ABOS=frutos abortados en secas (trampa), INMS=frutos inmaduros en secas (trampa), MADS=frutos maduros en secas (trampa), PARS=frutos parasitados en secas (trampa), DEPS=frutos depredados en secas (trampa).

7.12 Proporción de individuos con frutos maduros.

La fenofase de frutos maduros, tuvo una mayor duración en comparación con la floración, y se presentó de noviembre a mayo. Es en el mes de enero cuando el 97% de los encinos muestreados presenta la máxima proporción de frutos maduros. Por lo tanto, el índice de la sincronía poblacional para la fenofase de frutos maduros fue alta, con una Z de 0.77 siendo 1 el valor máximo (Fig. 19).

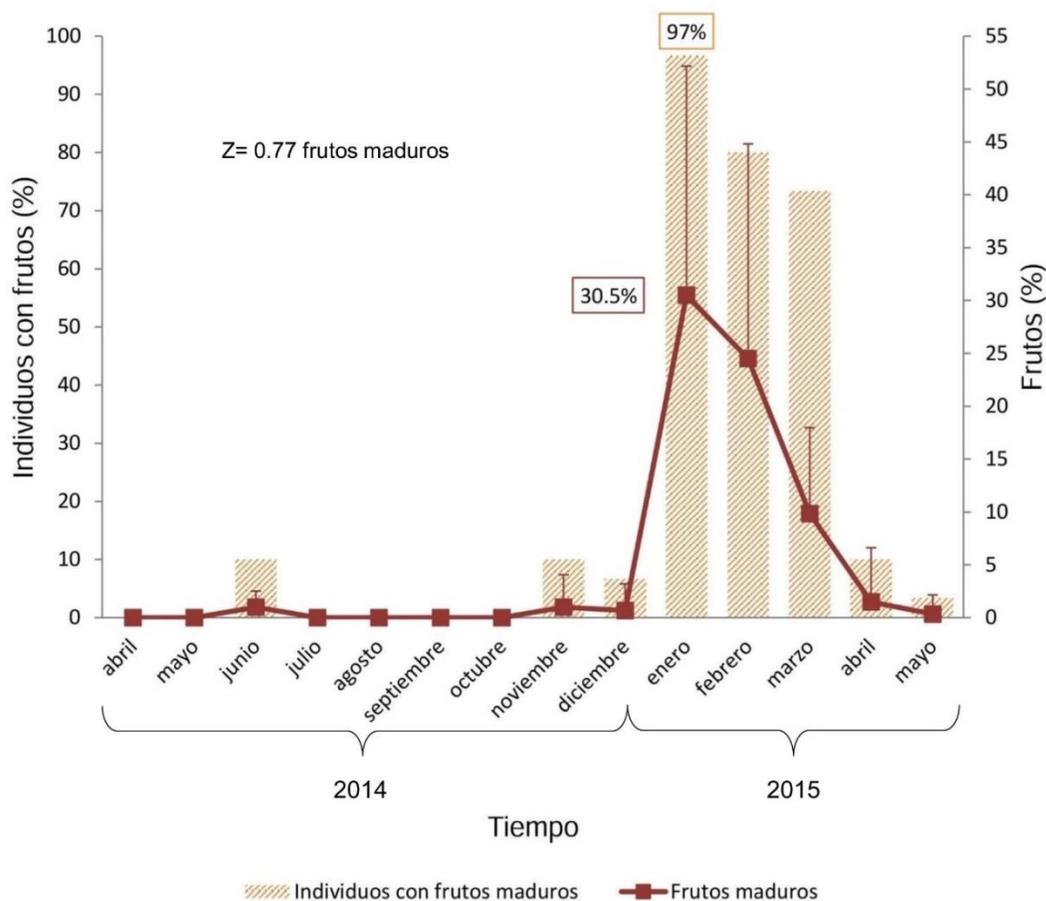


Figura 19. Porcentaje de individuos que presentaron frutos maduros en barras, y el porcentaje de frutos maduros producidos cada mes ($\bar{x} + EE$) en línea, además se muestra el índice de sincronización (Z).

7.13 Producción de frutos de *Quercus rugosa*.

Con el registro de la cantidad de bellotas caídas en las trampas, se logró extrapolar este número a la cantidad de bellotas que produjo cada encino durante todo el año, siendo los individuos 26, 3, 19 y 10 los que llegaron a producir más de 6000 bellotas. En contraste, los individuos 21 y 1 fueron los que presentaron bajas cosechas con ligeramente más de 100 bellotas (Fig. 20).

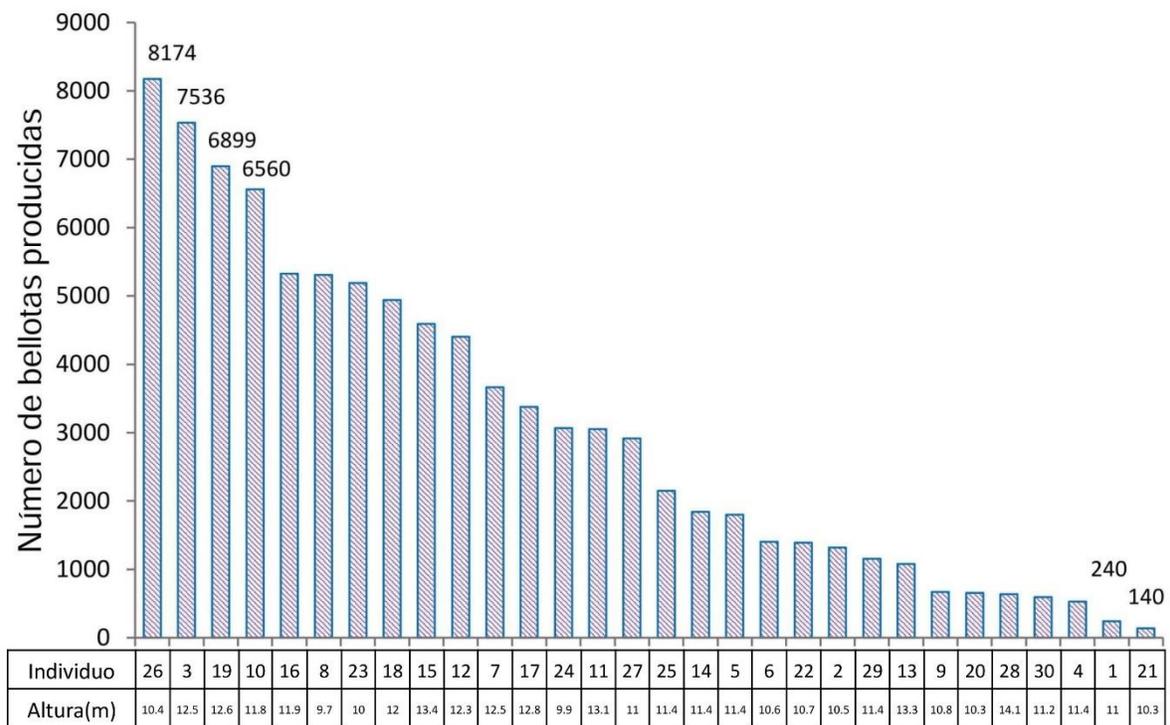


Figura 20. Número de bellotas producidas por individuo durante un año.

7.14 **Las bellotas de *Quercus rugosa* en las trampas.**

La figura 21 muestra el porcentaje de las bellotas que fueron removidas o que permanecieron en las seis trampas cada mes. Debido a que el experimento se inició en noviembre, el 100% representa todas las bellotas que se dejaron en las trampas sin signos de depredación (frutos intactos).

El porcentaje de bellotas que fueron removidas de las trampas incrementó de diciembre a mayo, iniciando en un 23% hasta terminar con 55%, las cuales pudieron ser re-dispersadas. En contraste, el porcentaje de bellotas que fueron parasitadas, disminuyó conforme pasaron los meses, presentando la mayor incidencia en febrero con un 13% (Fig. 22). Se registraron de enero a mayo bellotas depredadas, presentando un porcentaje similar durante todo ese período, excepto en marzo cuando se registró solo un 1% (Fig. 23). Mientras que el porcentaje de bellotas intactas fue disminuyendo de un 77% en diciembre a un 37% en mayo.

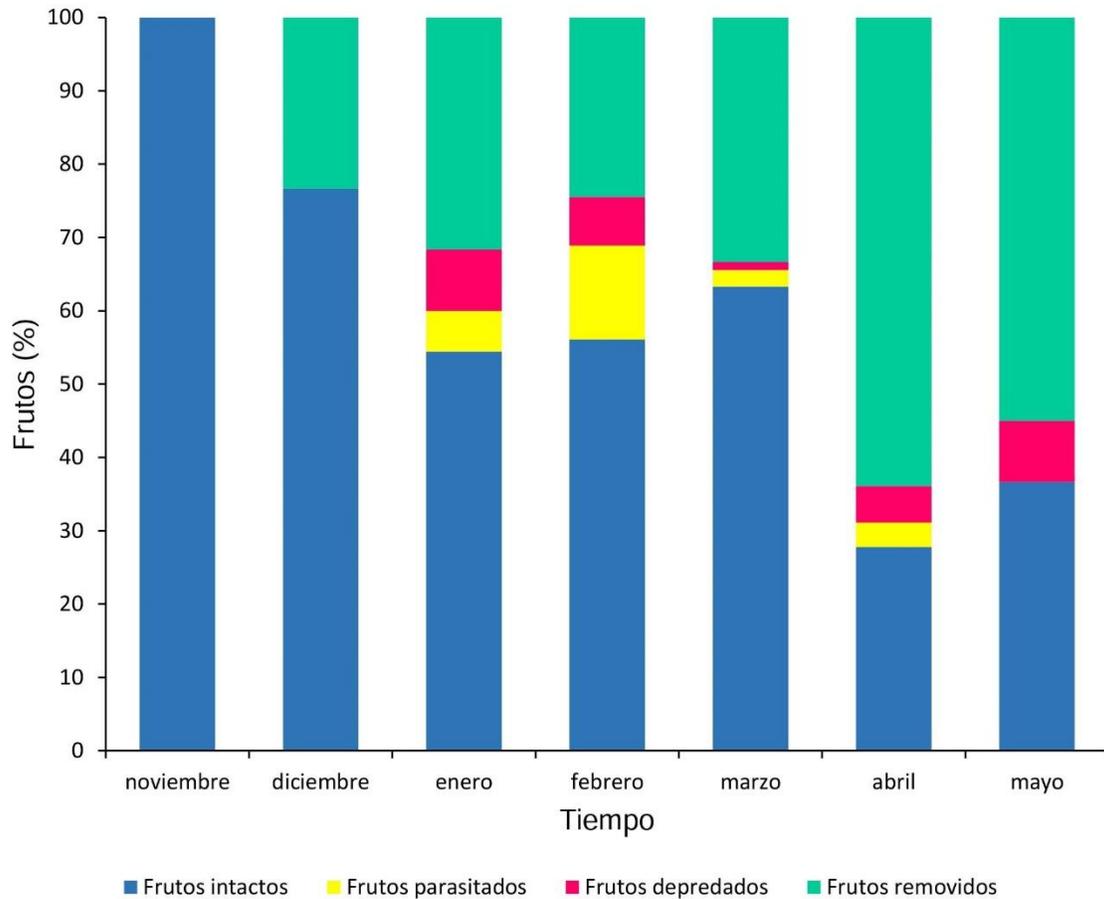


Figura 21. Promedio del número de bellotas que fueron removidas (posiblemente re-dispersadas), y las que permanecieron en las trampas (intactas, parasitadas o depredadas).

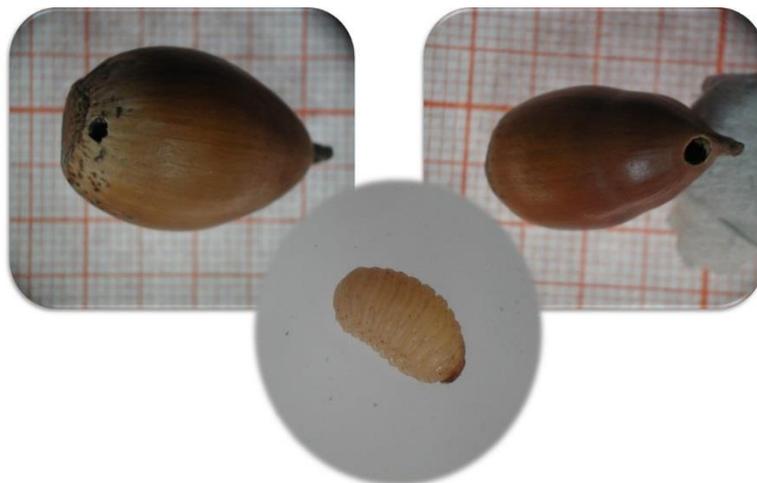


Figura 22. Bellotas parasitadas por el fitófago perteneciente al género *Curculio*.



Figura 23. Bellotas que permanecieron en una trampa, en círculo amarillo las parasitadas y en círculo rojo las depredadas.

7.15 Germinación

De las 400 bellotas maduras recolectadas en campo en el mes de enero, 60 estaban depredadas o parasitadas, por lo que el total que se utilizó para germinar en el laboratorio fue de 340 bellotas. Después de 8 días, más de la mitad de las semillas ya habían germinado (Fig. 24-25). Además, la tasa de germinación para estas bellotas no almacenadas fue de $TG = 6.08$ bellotas/día.

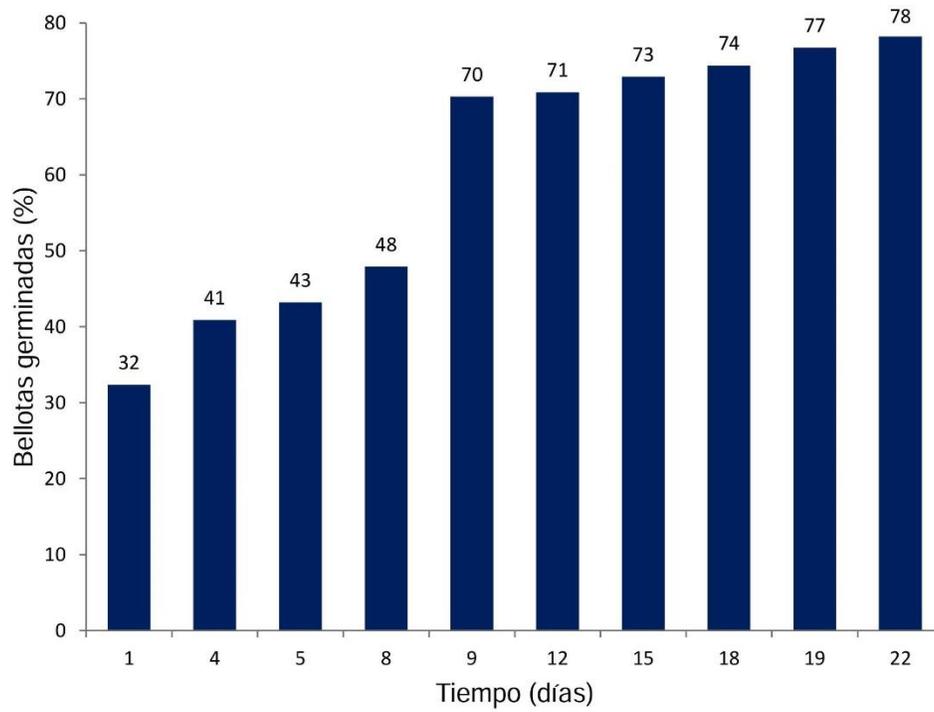


Figura 24. Porcentaje de germinación de las bellotas que no fueron almacenadas de *Quercus rugosa*.



Figura 25. Bellotas germinadas de *Quercus rugosa* que no fueron almacenadas.

De las bellotas maduras que fueron recolectadas en el mes de febrero, solo 172 se encontraron en buenas condiciones, se almacenaron y se pusieron a germinar en el mes de junio. Después de 16 días, cerca de la mitad de las semillas germinó (Fig. 26-27). Para esta muestra de bellotas almacenadas la tasa de germinación fue más baja, presentando un valor de TG= 3.74 bellotas/día.

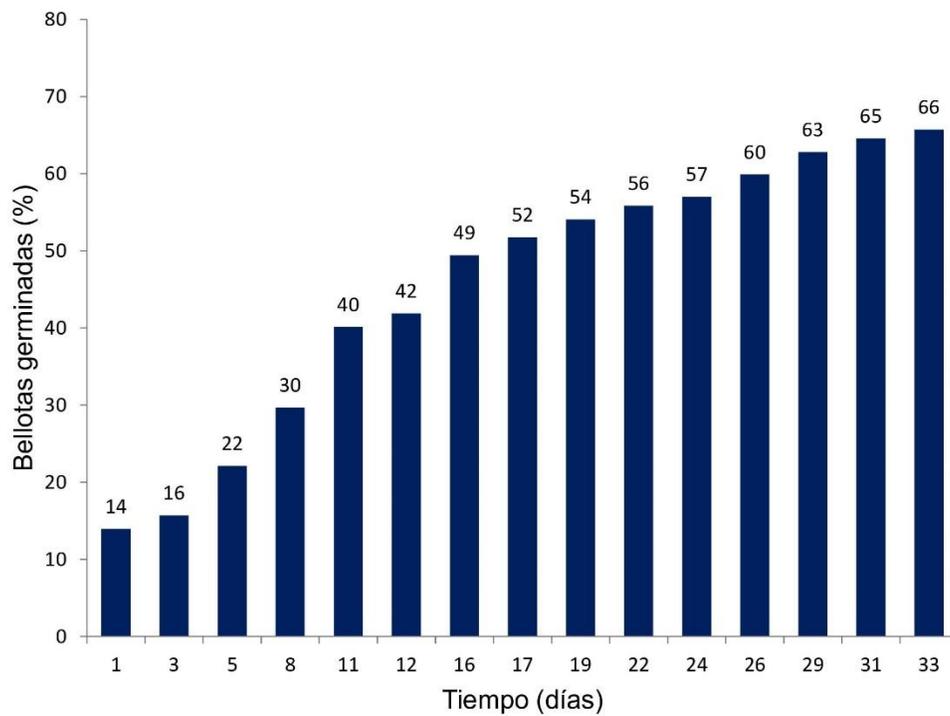


Figura 26. Porcentaje de germinación de las bellotas almacenadas de *Quercus rugosa*.



Figura 27. Bellotas almacenadas que germinaron de *Quercus rugosa*.

8. Discusión

El estudio de la fenología de las especies arbóreas es importante debido a que establece una base para realizar estudios ecológicos que proporcionen información sobre su productividad y a la vez sean considerados en programas de conservación forestal (Camacho y Orozco, 1998).

8.1 Fenología foliar de *Quercus rugosa*.

El género *Quercus* presenta especies que son caducifolias y perennifolias, en el caso de estas últimas a pesar de mantener siempre hojas verdes en sus copas, éstas se van sustituyendo de forma paulatina (Arizaga *et al.*, 2009). Por ello el comportamiento de las hojas de *Quercus rugosa* de la CRM, al igual que el reportado por Céspedes-Porras, (1991) en Costa Rica para *Q. seemannii*, presenta renuevos de hojas y defoliación durante todo el año. La mayor proporción de hojas jóvenes para ambas especies se presenta a finales de la temporada de secas y a principios de las lluvias, cuando la humedad relativa va incrementando. Sin embargo, no solo para *Q. seemannii* sino también para *Q. rugosa*, el renuevo de hojas no es favorecido en los meses con los niveles más altos de precipitación. Así, el renuevo de hojas no depende solo del agua, también de los nutrientes disponibles en el suelo donde crecen los cuales pueden favorecer la foliación (Pinto *et al.*, 2011).

La temperatura puede ser un factor determinante en la producción de hojas para los encinos (Pinto *et al.*, 2011). Bello (1994), reporta que las hojas nuevas de *Q. glaucoides* se presentaron cuando las temperaturas eran cálidas, al igual que en el estudio de Rodríguez y Muñoz, (2009) para *Q. ilex*, donde la foliación ocurrió

cuando la temperatura variaba entre 12 a 14°C. En el presente estudio la proporción de hojas jóvenes de *Q. rugosa* se incrementó durante los meses de abril a mayo, cuando la temperatura registrada era de entre 11.5 y 12°C. Sin embargo, en las correlaciones de Spearman no se encontró una relación significativa entre la proporción de hojas jóvenes y la temperatura, por lo que otros factores ambientales pueden estar influenciando esta fenofase como la combinación de temperaturas cálidas y frías, el fotoperiodo y la radiación solar, que pueden actuar dependiendo del lugar y la especie (Madrigal, 1997; Williams-Linera, 1997; Pinto *et al.*, 2011; Polgar y Primack, 2013).

En el presente estudio las hojas maduras de *Quercus rugosa* se mantuvieron durante todo el año, aunque en mayor proporción durante la temporada de lluvias y con temperaturas cálidas de entre 11 a 12.6°C. La alta disponibilidad hídrica durante esa temporada, permite que los árboles mantengan una alta presión de turgencia celular lo que influye en la apertura de los estomas. Además, la precipitación acumulada durante esos meses ayuda a que las raíces más superficiales absorban los nutrientes que se acumulan por encima del suelo, mientras que las temperaturas cálidas provocan un aumento en la tasa de mineralización de la hojarasca y la materia orgánica presente en el suelo (Pinto *et al.*, 2011). El que los encinos mantuvieran las hojas maduras aún en temporada de secas puede explicarse porque al ser una especie leñosa, cuenta con un sistema radicular profundo que puede llegar a reservas de aguas subterráneas y amortiguar el efecto negativo de la baja precipitación (Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007).

El patrón fenológico de las hojas seniles de *Quercus rugosa* se relacionó negativamente con la precipitación y la humedad del suelo, y el pico máximo de éstas se observó en el mes de enero cuando los valores de precipitación, humedad relativa ambiental y humedad de suelo fueron los más bajos, lo cual es una estrategia para disminuir el área de transpiración durante las secas (Damascos *et al.*, 2005). Estos resultados son similares para esta misma especie en el estado de Michoacán, cuyos árboles presentaron la mayor proporción de hojas seniles durante la temporada de secas (Bello, 1994), al igual que lo observado por Céspedes-Porras (1991) para *Q. semannii* y Madrigal (1997) para *Q. oocarpa*.

Así mismo las heladas pueden dañar a los tejidos jóvenes (Alvarado *et al.*, 2007) o pueden inducir la senescencia, aunque este proceso también puede estar dado por otros factores, como sequías, corto fotoperiodo, o factores genéticos (Williams-Linera, 1997; Fracheboud *et al.*, 2009). En el mes de enero se presentó la temperatura más baja de 8 °C, lo cual pudo influir en la baja proporción de hojas jóvenes y en el alto porcentaje de hojas seniles de *Q. rugosa* debido al estrés ambiental.

Otras variables importantes para entender los patrones foliares de las especies son las dasonómicas, como la altura de los individuos de *Q. rugosa*, variable que se correlacionó positivamente con la fenofase de las hojas maduras en ambas temporadas, Westoby *et al.* (2002) mencionan que los árboles que presentan mayor altura tienen ventaja sobre otros individuos en mantener las hojas maduras, ya que tienen mayor acceso a la luz. Asimismo, Baraza *et al.* (2004) reportan que individuos jóvenes de *Q. pyrenaica* expuestos a la luz presentan más hojas y una mayor masa

foliar por unidad de área, que los individuos que crecieron bajo la sombra. Entonces podemos suponer que los individuos de *Q. rugosa* con mayor altura se vieron favorecidos por la disponibilidad de luz.

La edad de los individuos de *Q. rugosa* también pudo influir en la producción y mantenimiento de sus hojas, los individuos con mayor proporción de hojas maduras y menor de hojas seniles tuvieron mayor correspondencia con la altura, cobertura y área basal, debido a que árboles con una mayor área basal pueden presentar un sistema radicular mayor, con lo cual podrían aprovechar reservas de agua profundas que les permiten conservar sus hojas (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2004; Pineda *et al.*, 2015). En contraste, los individuos con menor área basal se correlacionaron negativamente con una mayor producción de hojas jóvenes. Esto puede explicar que al no haber hojas jóvenes, éstas contribuyen al proceso de engrosamiento del tronco (Pineda *et al.*, 2015). Otra explicación sería que estos individuos de talla más pequeña pueden estar en competencia con los de mayor área basal (Westoby *et al.*, 2002).

8.2 Fenología de las flores de *Quercus rugosa*.

Las flores de *Q. rugosa* se presentaron en la temporada seca del año, similar a lo reportado para otras especies del mismo género (Céspedes-Porras, 1991; Bello, 1994; Madrigal, 1997; Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007; Rodríguez y Muñoz, 2009; Cortés *et al.*, 2011). Cabe resaltar que la especie de este estudio presentó su pico de floración en el mes de abril, al igual que lo reportado por Bello

(1994) y Cortés *et al.* (2011) para esta misma especie, y Rodríguez y Muñoz (2009) para *Q. ilex* en España.

Un atributo importante de las especies que influye en el inicio de la floración es su síndrome de polinización (Madrigal, 1997). Para la especie en estudio la floración se presentó en un periodo muy corto de apenas dos meses, característica común para las especies anemófilas (Cortés *et al.*, 2011). Además, la presencia de flores maduras durante la temporada de secas, coincide con lo reportado para otras especies que son polinizadas por el viento, ya que se encuentran las condiciones ambientales adecuadas para el transporte del polen (Rathcke y Lacey, 1985; Madrigal, 1997; Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007).

Marroquín-Flores (1997), señala que los encinos pueden llegar a tener un aspecto subcaducifolio, donde la etapa de desprendimiento de hojas se alarga hasta traslaparse con la producción de flores. Esto coincide con los resultados de este trabajo, donde encontramos una disminución de hojas maduras y un aumento de hojas seniles de marzo a mayo, meses donde se presentan las flores de *Q. rugosa*. Este comportamiento también lo reporta Bello (1994), quien menciona que hay una relación con la caída de sus hojas y la presencia de flores en los encinos michoacanos, enfatizando que la planta puede asignar más recursos a la fenofase reproductiva que a la vegetativa, y que las lluvias pueden dañar las estructuras florales e impedir una buena dispersión del polen; coincidiendo con lo reportado en este trabajo, en donde se encontró que tanto las flores jóvenes como maduras se presentaron en los meses con baja humedad relativa ambiental y poca humedad en el suelo, factores que favorecen la liberación de polen (Bello, 1994; Madrigal, 1997).

En otros encinos se ha observado que las flores maduras tienen una relación positiva con la temperatura, ya que durante la maduración de los óvulos y el crecimiento del polen se presentan temperaturas cálidas, similar a lo observado en el presente estudio de *Q. rugosa* (Sork y Bramble, 1993; Olvera-Vargas *et al.*, 1997; Rodríguez y Muñoz, 2009); por lo contrario, las bajas temperaturas inhiben la formación de las flores (Pérez *et al.*, 2013). Asimismo, las flores jóvenes estuvieron correlacionadas positivamente con las flores maduras, donde la sobrevivencia de las flores jóvenes y las condiciones ambientales adecuadas, tuvo como consecuencia una alta proporción de flores maduras y posteriormente la producción de frutos. Esta transición de flores a frutos se aprecia en la correlación negativa entre las flores jóvenes y los frutos jóvenes (Sork y Bramble, 1993).

Es importante mencionar que el 77% de los individuos de *Q. rugosa* presentaron flores durante el mes de abril, observando un índice de sincronía poblacional moderado ($Z= 0.48$). Esta es una característica muy común entre los encinos o en otras especies que son polinizadas por el viento, ya que presentan una máxima producción de estructuras florales en un corto periodo de tiempo y con una alta sincronía (Rabinowitz *et al.*, 1981; Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007; Cortés-Flores, 2010).

Los encinos presentan meristemos que pueden dar origen tanto a las flores como a las hojas (Marroquín-Flores, 1997), por lo tanto, es posible que los individuos de *Q. rugosa* con mayor cobertura presentaran más meristemos, y por lo tanto más estructuras florales, además los individuos de mayor tamaño asignan más recursos al desarrollo de las flores (Cecich, 1999; Bonilla-Valencia, 2014). La

intensidad de luz es un factor que también afecta la producción de flores (Marroquín-Flores, 1997), aunque en el presente estudio no se evaluó ésta variable, se debe considerar que la diferencia en la producción de flores de los encinos muestreados puede estar influenciada por la diferente intensidad de luz que recibieron sus ramas.

Se corroboró con el análisis de componentes principales que los individuos que produjeron mayor proporción de flores relacionados con una mayor cobertura y mayor área basal se separan de los individuos que no produjeron flores y presentaron menores tallas. Evidentemente habría que seguir monitoreando la fenología de las flores de *Q. rugosa*, ya que la edad del individuo puede influir en la producción de estructuras reproductivas (Ducouso *et al.*, 1993).

8.3 Fenología de los frutos de *Quercus rugosa*.

Anteriormente se ha mencionado que las especies de encino que presentan el comportamiento reproductivo de *masting*, muestran una alta variabilidad interanual en la producción de frutos y en los *mast years* la producción de bellotas es abundante y altamente sincrónica (Camacho y Orozco, 1998; Kelly y Sork, 2002; Cortés-Flores, 2010; Fernández-Martínez *et al.*, 2012), esto puede ser resultado de la acumulación de los recursos suficientes para destinarnos a un alto esfuerzo reproductivo, o de la estrategia para evitar la depredación (bajo la hipótesis de la saciedad del depredador) (Ducouso *et al.*, 1993; Sork y Bramble, 1993; Kelly y Sork, 2002). En los individuos de *Quercus rugosa* se observó que las lluvias son necesarias para completar el desarrollo de los frutos jóvenes, por lo que después del acumulamiento de recursos, la mayor proporción de bellotas maduras se

presentó después de las lluvias (de noviembre a mayo), esto ha sido reportado también por otros autores (Céspedes-Porras, 1991; Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007).

Cabe enfatizar que el 97% de los individuos de *Q. rugosa* presentaron frutos maduros, y el índice de sincronía poblacional de esta fenofase fue de $Z=0.77$, un evento altamente sincrónico. Esta característica se ha observado para la misma especie en el estado de Michoacán (Cortés *et al.*, 2011), así como para *Q. obtusata* y *Q. castanea* (Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2007).

Las variables ambientales que determinan una mayor producción de frutos maduros en enero y que se correlacionaron negativamente, fueron la baja precipitación, la menor humedad del suelo y la menor humedad ambiental relativa, lo cual ha sido reportado también para la especie *Q. semannii* en Costa Rica (Céspedes-Porras, 1991), y para las especies perennifolias de bosques templados donde el pico de fructificación se presenta cuando la temperatura es mínima (Williams-Linera, 1997).

Con relación a las variables dasonómicas, *Q. rugosa* presentó un alto porcentaje de frutos jóvenes y maduros en los árboles con mayor altura y cobertura, ya que los árboles de mayor tamaño están positivamente relacionados con su capacidad de producir frutos (Ducouso *et al.*, 1993; Díaz-Fernández, 2000). Esto puede deberse a que las ramas superiores de estos árboles tuvieron mayor disponibilidad de luz, en consecuencia, pudieron generar más carbohidratos favoreciendo la fructificación (Hochwender *et al.*, 2003). Por ello, en el análisis de

componentes principales, los individuos con mayor proporción de frutos jóvenes y maduros tuvieron mayor correspondencia con estas variables.

Además de las variables ambientales y dasonómicas que están influyendo en la producción de frutos, existe también variabilidad entre los treinta individuos de *Q. rugosa*, característica que también ha sido reportada para *Q. suber* (Díaz-Fernández, 2000). El potencial genético de cada individuo puede ser la causa de esta variabilidad, se ha mencionado que generalmente los individuos que tienen alta producción de frutos son siempre menos de la mitad de la población (Greenberg, 2000; Rodríguez-Estévez *et al.*, 2007), lo cual se puede apreciar en el presente estudio, puesto que 4 individuos de *Q. rugosa* produjeron un gran número de bellotas. Si se continúa con el estudio de la producción de bellotas de *Q. rugosa* a largo plazo, se podría apreciar lo que se ha documentado para otros encinos, que tras presentarse una abundante producción de frutos se presenta un agotamiento de recursos que repercute en la posterior fructificación y posiblemente estos 4 individuos no presentarían los mismo valores en cantidad de bellotas. Así mismo, se ha mencionado que factores como el pastoreo, la deforestación o plagas, disminuyen la producción de bellotas y por lo tanto el efecto negativo sobre cada individuo será diferente (Hochwender *et al.*, 2003; Rodríguez-Estévez *et al.*, 2007; Rodríguez-Estévez *et al.*, 2008; González y Parrado, 2010).

En el presente estudio, los frutos jóvenes que se produjeron en la copa de los árboles en 2014 se correlacionaron positivamente con las bellotas inmaduras, maduras y depredadas que se observaron en las trampas durante el mismo año. También cabe mencionar que se registró una gran cantidad de bellotas abortadas

en las trampas, lo cual se ha observado para otras especies de encinos siendo señalada como una característica propia del género *Quercus* (González y Parrado, 2010). Sin embargo, los factores bióticos pueden ser los que afecten el desarrollo de los frutos, como se ha reportado para *Q. alba* donde una alta herbivoría tiene como consecuencia una disminución en la producción de frutos (Hochwender *et al.*, 2003).

Arizaga *et al.* (2009) mencionan que las bellotas de los encinos representan una fuente de alimentación para los animales silvestres, ya que éstas cuando están maduras se relacionan con procesos de dispersión y depredación (Jiménez-Muñoz, 2007; Perea, 2011; Gili-Serrat, 2012; González-Barrio, 2012). Nuestros resultados muestran que hubo una alta correlación entre las bellotas maduras producidas en enero de 2015 y las depredadas registradas en las trampas. Por ello, las fenofases de los frutos y las bellotas registradas en las trampas tuvieron relaciones significativas, lo que se puede estar reflejando en una gran disponibilidad de bellotas maduras para los pequeños roedores, similar a lo reportado para la especie *Q. petraea* (Perea, 2011).

Por otro lado, durante la temporada de lluvias en 2014 se observó el mayor número de frutos parasitados en las trampas el cual se correlacionó positivamente con la proporción de frutos jóvenes de las copas de los árboles, en los meses donde se registraron las temperaturas más altas. Jiménez-Muñoz (2007), reporta que el desarrollo de muchas especies de insectos herbívoros se ve favorecidos con temperaturas relativamente cálidas, como los curculiónidos que atacan las bellotas del género *Quercus*, y puesto que la actividad de los adultos es mayor en temporada

de lluvias, es posible que las especies del género *Curculio* sean las que depredan a las bellotas de *Q. rugosa* (Jiménez *et al.*, 2005).

Cabe mencionar que no hay trabajos que se enfoquen en la importancia de la fenofase de frutos jóvenes que es primordial para la obtención de recursos y su sobrevivencia es importante para que los encinos presenten grandes cantidades de frutos maduros; además los frutos jóvenes se encuentran presentes aparentemente durante todo el año, enfatizando que si hay una relación con las variables dasonómicas de los individuos.

Se puede apreciar que las bellotas marcadas depositadas en las trampas, están ligadas a consumidores “pre y post-dispersivos”, puesto que los ratones de campo y las ardillas distinguen entre las bellotas parasitadas y sanas, prefiriendo estas últimas y repercutiendo en el proceso de re-dispersión al presentarse una selección desigual de las bellotas (Smallwood *et al.*, 2001; Perea, 2011). Esto se puede apreciar indirectamente en el presente estudio, debido a que durante los primeros meses del experimento se registró un aumento en el porcentaje de bellotas de *Q. rugosa* parasitadas que después disminuyó, mientras que la depredación inició en porcentajes bajos y aumentó con el tiempo. Debido a que los pequeños roedores pueden consumir las bellotas o llevarlas a sitios más alejados del árbol fuente, dejando las bellotas enterradas o bajo la hojarasca (Perea, 2011; González-Barrio, 2012; García-Hernández, 2014), las bellotas disponibles en las trampas probablemente fueron tomadas por animales de la zona de estudio, por lo que la proporción de bellotas removidas aumenta con el paso de los meses.

No obstante no se pudo registrar el destino final de las bellotas marcadas de *Q. rugosa* que fueron removidas de las trampas, se puede suponer que el destino de esas bellotas pueden representar nuevos individuos, porque la remoción no implica que sean comidas total o parcialmente, como en el en el estudio de Perea (2011), donde las semillas de *Q. pyrenaica* de talla grande que fueron parcialmente consumidas hasta 1/3 de su longitud, fueron capaces de germinar y establecerse porque la parte del embrión no fue dañada. Sin embargo, las semillas pequeñas tuvieron baja supervivencia, por lo que sería muy importante seguir observando la dinámica de la re-dispersión de las bellotas de *Q. rugosa*, conocer el destino final de éstas y determinar qué probabilidades tienen de establecerse cuando son de distintas tallas.

Las bellotas de los encinos blancos tienen baja latencia por lo que al caer al suelo germinan inmediatamente (Marroquín-Flores, 1997; González-Salvatierra *et al.*, 2013), esto responde en la alta tasa de germinación de las bellotas no almacenadas de *Q. rugosa* del presente estudio. Zavala (2008) menciona que las bellotas con mayor contenido de humedad germinan más rápido que las de bajo contenido.

Al ser la humedad un factor importante para la germinación de las bellotas (García-Hernández, 2014), el almacenamiento de éstas en la especie en estudio afectó su viabilidad, resultado similar al estudio de Zavala (2008) para bellotas de la misma especie, quien reporta que la pérdida de agua durante el almacenamiento provoca una disminución en la viabilidad y muerte por desecación. Por lo tanto, las bellotas maduras que se produjeron en enero de 2015, al momento de caer al suelo

probablemente aprovecharon la humedad disponible en el suelo y la hojarasca para germinar, a pesar de ser un mes con baja precipitación. Sin embargo, se ha reportado que durante las lluvias los encharcamientos afectan la germinación de las bellotas, ya que generan condiciones de hipoxia que evitan que las semillas sobrevivan o que las plántulas emerjan más lentamente (Rodríguez, 2009). Por ello, las condiciones ambientales adecuadas favorecerán la germinación, es decir, la suficiente humedad para iniciar el proceso, pero no una cantidad de agua que provoque encharcamientos o favorezca la presencia de hongos en las bellotas (Zavala, 2008). Además, como menciona González-Salvatierra *et al.* (2013), las bellotas pueden caer ya estando parasitadas por las larvas de insectos y dependiendo de su grado de infestación pueden o no germinar.

Este estudio se enfocó en la especie *Quercus rugosa* perteneciente al bosque templado de la cuenca del río Magdalena, cabe aclarar que no hay antecedentes sobre su fenología de la especie en esta zona, además que en general en México los estudios de esta especie son pocos y los disponibles se restringen al estado de Michoacán, por lo que se contribuye con información biológica y ecológica de esta especie, y como menciona Bonfil-Sanders, (1998) este tipo de estudios ayudan a ampliar el conocimiento de las especies de encinos de nuestro país y ser aplicados posteriormente en trabajos de restauración ecológica, ayudando a detener el deterioro ecológico en las zonas templadas de México que han sido ocupadas por los asentamientos humanos.

Cabe señalar que es muy importante seguir haciendo estudios biológicos y ecológico de los encinos, puesto que México es uno de los centros de diversificación

del género *Quercus* (Zavala, 1998) y los encinos crecen principalmente en bosques templados debido a su desarrollo lento (Arizaga *et al.*, 2009).

Finalmente se recomienda el seguimiento fenológico de *Q. rugosa*, ya que los esfuerzos por conocer la fenología de las especies a largo plazo actualmente son valorados e incorporados en modelos predictivos del cambio climático, y seguir contribuyendo con información biológica y ecológica para entender sus patrones fenológico temporales, y proteger la funcionalidad y conservar los servicios ecosistémicos del encinar para las futuras generaciones (Morellato *et al.*, 2016).

9. Conclusiones

- Se encontró un incremento en el porcentaje de hojas jóvenes a inicio de la temporada de lluvias, de hojas seniles en temporada de secas, y las hojas maduras se mantienen todo el año.
- La producción de flores es efímera y responde a una mayor temperatura y menor humedad ambiental.
- La producción de frutos jóvenes está presente la mayor parte del año aunque los frutos maduros se presentan durante un periodo más corto, con la mayor proporción en el mes de enero después de las lluvias.
- El índice de la sincronía poblacional en la floración y el de fructificación fue alto.
- Los individuos con altos valores de sus variables dasonómicas fueron los que presentaron mayores porcentajes de estructuras reproductivas.
- Hay una depredación y posible re-dispersión de los frutos maduros y un alto parasitismo en frutos jóvenes.
- La germinación fue mayor que 70% en bellotas recién recolectadas y hay una pérdida de la viabilidad en bellotas almacenadas.

10. Referencias

- Almeida-Leñero, L., Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordoñez, M. de J. y Jujnovsky J. (2007). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica*. **84-85**: 53-64.
- Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de L., Almaraz-Sánchez, A., Tlapal-Bolaños, B., Trejo-Ramírez, O., Davidson, J.M., Kliejunas, J.T., Oak, S., O'Brien, J.G., Orozco-Torres, F. y Quiroz-Reygadas, D. (2007). Agentes asociados y su papel en la declinación y muerte de encinos (*Quercus*, Fagaceae) en el centro-oeste de México. *Polibotánica*. **(23)**: 1-21.
- Álvarez-Román, K.E. (2000). Geografía de la Educación Ambiental: algunas propuestas de trabajo en el bosque de Los Dinamos, Área de Conservación Ecológica de la delegación Magdalena Contreras. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arizaga, S., Martínez, J., Salcedo, M. y Bello, M.A. (2009). Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. México. INE-SEMARNAT.
- Augspurger, C.K. (1983). Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six neotropical shrubs. *Biotropica*. **15(4)**: 257-267.
- Ávila-Akerberg, V. (2002). La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Baker, J.R. y Baker, I. (1936). The seasons in a tropical rain-forest (New Hebrides). Part 2. Botany. *Journal of the Linnean Society of London, Zoology*. **39**: 507-519.
- Baraza, E., Gómez, J.M., Hódar, J.A. y Zamora, R. (2004). Herbivory has a greater impact in shade than in sun: response of *Quercus pyrenaica* seedlings to multifactorial environmental variation. *Canadian Journal of Botany*. **82**: 357-364.
- Bello, M.A. (1994). Fenología y biología del desarrollo de cinco especies de *Quercus*, en Paracho y Uruapan, Michoacán. *Revista Ciencia Forestal en México*. **19(75)**: 3-40.
- Bonfil-Sanders, C. (1998). Dinámica poblacional y regeneración de *Quercus rugosa*: Implicaciones para la restauración de bosques de encinos. *Tesis de Doctorado*. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bonilla-Valencia, L. (2014). Fenología reproductiva de *Sambucus nigra* L., en la cuenca del río Magdalena D.F. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Both, C., van Asch, M., Bijlsma, R.G., van de Burg, A.B. y Visser, M.E. (2009). Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations?. *Journal of Animal Ecology*. **78**:73-83.

Camacho, M. y Orozco L. (1998). Patrones fenológicos de doce especies arbóreas del bosque montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. **46(3)**: 533-542.

Castro-Gutiérrez, C. (2013). El papel de las especies invasoras en la estructura herbácea del bosque de *Quercus rugosa*, en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cecich, R.A. y Sullivan, N.H. (1999). Influence of weather at time of pollination on acorn production of *Quercus alba* and *Quercus velutina*. *Canadian Journal of Forest Research*. **29(12)**: 1817-1823.

César-García, S.F. (2002). Análisis de algunos factores que afectan la fenología reproductiva de la comunidad vegetal de la reserva del pedregal de San Ángel, D.F. (México). *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Céspedes-Porras, R. (1991). Fenología de *Quercus semannii* Lieb. (Fagaceae) en Cartago, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. **39(2)**: 243-248.

Cornejo-Tenorio, G. e Ibarra-Manríquez, G. (2007). Plant reproductive phenology in a temperate forest of the monarch butterfly biosphere reserve, México. *Interciencia*. **32(7)**: 445-452.

Cortés-Flores, J. (2010). Fenología reproductiva y síndromes de dispersión de la flora de un bosque templado en Michoacán, México. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cortés, J., Cornejo, G. e Ibarra, G. (2011). Fenología reproductiva de las especies arbóreas de un bosque neotropical. *Interciencia*. **36(8)**: 608-613.

Damascos, M.A., Prado, C.H.B.A. y Ronquim, C.C. (2005). Bud composition, branching patterns and leaf phenology in Cerrado woody species. *Annals of Botany*. **96**: 1075-1084.

De Cara García, J.A. (2006). La observación fenológica en agrometeorología. *Ambienta*. **53**: 64-70. Disponible en:

www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%2FAM_2006_53_64_70.pdf

Delgadillo-Duran, E. (2011). Productividad primaria neta de los bosques templados de la cuenca del río Magdalena. *Tesis de Maestría*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Díaz-Fernández, P.M. (2000). Variabilidad de la fenología y del ciclo reproductor de *Quercus suber* L. en la península ibérica. *Tesis doctoral*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

Ducouso, A., Michaud, H. y Lumaret, R. (1993). Reproduction and gene flow in the genus *Quercus* L. *Annales des sciences forestières*. **50(Suppl1)**: 91s-106s.

Fernández-Martínez, M., Belmonte, J. y Espelta, J.M. (2012). Masting in oaks: Disentangling the effect of flowering phenology, airborne pollen load and drought. *Acta Oecologica*. **43**: 51-59.

Fracheboud, Y., Luquez, V., Björkén, L., Sjödin, A., Tuominen, H. y Jansson, S. (2009). The control of autumn senescence in European aspen. *Plant Physiology*. **149**: 1982-1991.

Frankie, G.W., Baker, H.G. y Opler P.A. (1974). Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*. **62(3)**: 881-919.

García, E. (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). (2a ed.). México. Instituto de Geografía, UNAM.

García-Hernández, M.A. (2014). Remoción, depredación y germinación de bellotas de encinos en un fragmento de bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz, México. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana.

Gili-Serrat, S. (2012). El riesgo de depredación y la competencia intraespecífica alternan el comportamiento de dispersión de semillas por parte de roedores. *Memoria del proyecto de final de carrera*. Universitat Autònoma de Barcelona.

Gómez, J.M. (2003). Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography*. **26**: 573-584.

Gómez, P. y Fournier, L.A. (1996). Fenología y ecofisiología de dos poblaciones de *Tabebuia rosea* ("Roble de Sabana") en Costa Rica (Bignoniaceae). *Revista de Biología Tropical*. **44(1)**: 61-70.

González, A. y Parrado A. (2010). Diferencias en la producción de frutos del roble *Quercus humboldtii* Bonpl. en dos bosques andinos de la cordillera oriental colombiana. *Revista Colombia Forestal*. **13(1)**: 141-162.

González-Barrio, R. (2012). Estudio de la selección y desplazamiento de bellotas por roedores bajo diferentes condiciones lumínicas y de microhábitat: Implicaciones en el regenerado natural del género *Quercus*. *Trabajo de final de carrera*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.

González-Salvatierra, C., Badano, E.I., Flores, J. y Rodas, J.P. (2013). Germinación, infestación y viabilidad en bellotas de *Quercus polymorpha* (Schlt. & Cham.) tras un año de almacenamiento. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. **19(3)**: 351-362.

González-Villarreal, L.M. (1986). Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de Jalisco. México. Instituto de Botánica, Colección Flora de Jalisco, Universidad de Guadalajara.

Greenberg, C.H. (2000). Individual variation in acorn production by five species of southern Appalachian oaks. *Forest Ecology and Management*. **132**: 199-210.

Herrera-Marín, M. (2013). Fenología de *Quercus insignis* M. Martens et Galeotti y *Quercus xalapensis* Bonpl. (Fagaceae) en el jardín botánico de Fundación Xochitla A.C. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

Hochwender, C.G., Sork, V.L. y Marquis, R.J. (2003). Fitness consequences of herbivory on *Quercus alba*. *The American Midland Naturalist*. **150(2)**: 246-253.

Hudson, I.L. & Keatley, M.R. (2010). Phenological Research, Method for Environmental and Climate Change Analysis. Dordrecht. Springer.

Huerta-Paniagua, R. (2010). Efecto de la temperatura y tamaño de la semilla en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Tesis de Licenciatura*. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.

Huerta-Paniagua, R. y Rodríguez-Trejo, D.A. (2011). Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. **17(2)**: 179-187.

Jiménez, A., Soria, F.J., Villagrán, M. y Ocete, M.E. (2005). Descripción del ciclo biológico de *Curculio elephas* Gyllenhal (1836) (Coleoptera: Curculionidae) en un encinar del sur de España. *Bol. San. Veg. Plagas*. **31**: 353-363.

Jiménez-Muñoz, E. (2007). Herbivoría de bellotas de *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl. (Fagaceae) en un bosque fragmentado en el estado de Hidalgo. *Tesis de Licenciatura*. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Jordán, M. y Casaretto J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citoquininas. En: F.A. Squeo & L. Cardemil (eds.). *Fisiología Vegetal*. Chile. Ediciones Universidad de La Serena: 1-28.

Jujnovsky-Orlandini, J. (2003). Las unidades de paisaje en la cuenca alta del río Magdalena, México, D.F. Base fundamental para la planificación ambiental. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Jujnovsky, J., Almeida-Leñero, L., Bojorge-García, M., Monges, Yani L., Cantoral-Uriza, E. y Mazari-Hiriart, M. (2010). Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica*. **20(2)**: 113-126.

Kelly, D. (1994). The evolutionary ecology of mast seeding. *TREE*. **9(12)**: 465-470.

Kelly, D. y Sork, V.L. (2002). Mast seeding in perennial plants: Why, How, Where?. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **33**: 427-447.

Köppen, W. (1948). *Climatología*. México. Fondo de Cultura Económica.

Lieberman, D. (1982). Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. *Journal of Ecology*. **70**: 791-806.

Madrigal, T.A. (1997). Fenología y ecofisiología del *Quercus oocarpa* (Fagaceae), Cartago, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. **44(3)/45(1)**: 117-123.

Maldonado-Romo, A.F. (2014). Fenología foliar y reproductiva de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Nizanda, Oaxaca, México. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Manos, P.S., Doyle, J.J. y Nixon, K.C. (1999). Phylogeny, Biogeography, and Process of Molecular Differentiation in *Quercus* Subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **12(3)**: 333-349.

Mantovani, M., Ruschel, A., Sedrez, M., Puchalski, Â. y Onofre, R. (2003). Fenologia reproductiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta atlântica. *Revista Árvore*. **27(4)**: 451-458.

Marañón, T., Camarero, J.J., Castro, J., Díaz, M., Espelta, J.M., Hampe, A., Jordano, P., Valladares, F., Verdú, M. y Zamora, R. (2004). Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. En: F. Valladares (ed.). *Ecología del bosque*

mediterráneo en un mundo cambiante. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente: 69-99.

Marroquín-Flores, R.A. (1997). Algunos aspectos sobre la fenología, producción de bellota y propagación de seis especies de *Quercus* L. del Estado de Nuevo León, México. *Tesis de Maestría*. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Martínez-Romero, M.M. (1997). Fenología de especies herbáceas y arbustivas del parque ecológico de la Ciudad de México Ajusco Medio, D.F. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

McCune, B., Mefford, M.J. (2006). PC-ORD (multivariate analysis of ecological data). Version 5.10. Gleneden Beach, Oregon EUA: MJM Software.

Morellato, L.P.C., Alberton, B., Alvarado, S.T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M.G.G., Cancian, L.F., Carstensen, D.W., Escobar, D. F.E., Leite, P.T.P., Mendoza, I., Rocha, N.M.W.B., Soares, N.C., Silva, T.S.F., Staggemeier, V.G., Streher, A.S., Vargas, B.C. y Peres, C.A. (2016). Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*. **195**: 60-72.

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia. BOLFOR.

Nava-López, M.Z. (2003). Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México: Un estudio de vegetación y fitodiversidad. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Née, Luis. (1801). *Quercus rugosa* Née (1801). Anales de Ciencias Naturales. **3(9)**: 275. Consultado el 26 de agosto del 2014 en: <http://www.botanicus.org/page/978847>

Ochoa, S., Pérez, I. y H.J. de Jong, B. (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*. **56**: 657-673.

Olivera-Morales, D. (2009). Evaluación de la infectividad de los hongos micorrizógenos arbusculares en un bosque de encino en la cuenca del río Magdalena y su uso como herramienta en la restauración ecológica. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Olivera-Vargas, M., Figueroa-Rangel, B.L., Moreno-Gómez, S. y Solís-Magallanes, A. (1997). Resultados preliminares de la fenología de cuatro especies de encino en Cerro Grande, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. *Biotam*. **9(1)**: 7-18.

Perea, R. (2011). Dispersión y predación de semillas por la fauna: Implicaciones en la regeneración forestal de bosques templados. *Tesis doctoral*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

Perea, R., San Miguel, A. y Gil, L. (2011). Acorn dispersal by rodents: The importance of re-dispersal and distance to shelter. *Basic and Applied Ecology*. **12**: 423-439.

Pérez, P., López, F., García, F., Cuevas, P. y González, A. (2013). Procesos de regeneración natural en bosques de encinos: factores facilitadores y limitantes. *Biológicas*. **1**: 18-24.

Pineda-Herrera, E., Valdez-Hernández, J.I., Pérez-Olvera, C.P. y Dávalos-Sotelo, R. (2015). Fenología, crecimiento en diámetro y periodicidad de *Hura polyandra* en Costa Grande, Guerrero, México. *Botanical Sciences*. **93(4)**: 741-753.

Pinto, C.A., Henriques, M.O., Figueiredo, J.P., David, J.S., Abreu, F.G., Pereira, J.S., Correia, I. y David, T.S. (2011). Phenology and growth dynamics in Mediterranean evergreen oaks: Effects of environmental conditions and water relations. *Forest Ecology and Management*. **262**: 500-508.

Polgar, C.A. y Primack, R.B. (2013). Leaf out phenology in temperate forests. *Biodiversity Science*. **21(1)**: 111-116.

Pulido, F.J. y Díaz, M. (2005). Regeneration of a Mediterranean oak: A whole-cycle approach. *Écoscience*. **12(1)**: 92-102.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rabinowitz, D., Rapp, J.K., Sork, V.L., Rathcke, B.J., Reese, G.A. y Weaver, J.C. (1981). Phenological properties of wind- and insect-pollinated prairie plants. *Ecology*. **62(1)**: 49-56.

Ramírez-Contreras, A. y Rodríguez-Trejo, D.A. (2004). Efecto de calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. **10(1)**: 5-11.

Ramírez-González, A. (2006). Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana.

Rathcke, B. y Lacey, E. (1985). Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematic*. **16**: 179-214.

Rodríguez, C.I. y Muñoz B. (2009). Fenología de *Quercus ilex* L. y *Quercus suber* L. en una dehesa del centro peninsular. España. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.

Rodríguez, I. (2009). Estructura, dinámica y regeneración de los bosques mixtos de alcornoque (*Quercus suber* L.) y quejigo moruno (*Q. canariensis* Willd.) del sur de la Península Ibérica: una aproximación multiescala. *Ecosistemas*. **18(2)**: 116-121.

Rodríguez-Estévez, V., García, A., Mata, C., Perea, J.M. y Gómez, A.G. (2008). Fundamento de los procedimientos para la estimación de la producción de bellota en la dehesa. *Archivos de Zootecnia*. **57(R)**: 29-38.

Rodríguez-Estévez, V., García, A., Perea J., Mata C. y Gómez, A.G. (2007). Producción de bellota en la dehesa: factores influyentes. *Archivos de Zootecnia*. **56(R)**: 25-43.

Romero, S., Rojas, E.C. y Garay-Velázquez, O.H. (2007). Presencia de flores hermafroditas en *Quercus rugosa* (Fagaceae) en el Estado de México (México). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. **64(2)**: 223-227.

Romero, S., Rojas, E.C. y Rubio, L.E. (2014). Fagaceae. Fascículo 181. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro.

Rzedowski, J. (2006). Capítulo 16, Bosque de *Quercus*. En: Rzedowski, J. (ed.) Vegetación de México. México. CONABIO: 274-294.

Sánchez-Garfias, B., Ibarra-Manríquez, G. y González-García, L. (1991). Manual de identificación de frutos y semillas anemócoros de árboles y lianas de la estación "Los Tuxtlas", Veracruz, México. Cuadernos 12. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Santibáñez-Andrade, G. (2009). Composición y estructura del bosque de *Abies religiosa* en función de la heterogeneidad y determinación de su grado de conservación en la cuenca del río Magdalena, México, D.F. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Santibáñez-Andrade, G., Castillo-Argüero, S. y Martínez-Orea, Y. (2015). Evaluación del estado de conservación de la vegetación de los bosques de una cuenca heterogénea del Valle de México. *Bosque*. **36(2)**: 299-313.

Schwartz, M. D. (2013). Introduction. En: Schwartz, M.D. (ed.) Phenology: An Integrative Environmental Science. (2nd Ed). Holanda. Springer: 1-5.

- Smallwood, P.D., Steele, M.A. y Faeth, S.H. The ultimate basis of the caching preferences of rodents, and the oak-dispersal syndrome: tannins, insects, and seed germination. *American zoologist*. **41**: 840-851.
- Smith-Ramírez, C. y Armesto, J.J. (1994). Flowering and fruiting patterns in the temperate rainforest of Chiloé, Chile – Ecologies and climatic constraints. *Journal of Ecology*. **82**: 353-365.
- Sork, V.L. y Bramble, J.E. (1993). Prediction of acorn crops in three species of North American oaks: *Quercus alba*, *Q. rubra* and *Q. velutina*. *Annales des sciences forestières*. **50 (Suppl1)**: 128-136.
- Sork, V.L., Bramble, J. y Sexton, O. (1993). Ecology of mast-fruiting in three species of North American deciduous oaks. *Ecology*. **74(2)**: 528-541.
- StatSoft, Inc. 2007. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Stearns, F. (1974). Phenology and environmental education. En: Lieth, H. (ed.) Phenology and seasonality modeling. New York. Springer: 425-429.
- Talora, D. y Morellato, P. (2000). Fenología de especies arbóreas em floresta de planicie litorânea do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*. **23**: 13-26.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Consultado el 26 agosto del 2014 en: <http://www.tropicos.org/Name/13100120>
- Van der Pijl, L. (1982). Principles of dispersal of higher plants. Berlín. Springer-Verlag.
- Vázquez, C., Batis, A.I., Alcocer, M.I., Gual, M. y Sánchez, C. (1999). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J-084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM. Consultado en: www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/31-fagac10m.pdf
- Vázquez, J.A., Cuevas, R., Cochrane, T.S., Iltis, H.H., Santana, F.J. y Guzmán, L. (1995). Flora de Manantlán, Plantas vasculares de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán Jalisco-Colima, México. Sida, Botanical Miscellany No. 13, Botanical Research Institute of Texas. 315 pp.
- Westoby, M., Falster, D.S., Moles, A.T., Vesk, P.A. y Wright, I.J. (2002). Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **33**: 125-159.

Williams-Linera, G. (1997). Phenology of deciduous and broadleaved-evergreen tree species in a Mexican tropical lower montane forest. *Global Ecology and Biogeography Letters*. **6**: 115-127.

Williams-Linera, G. y Meave, J. (2002). Patrones fenológicos. En: Guariguata, M.R., Kattan, G.H. (eds.) Ecología y conservación de bosques neotropicales. Costa Rica. Libro Universitario Regional: 407-431.

Zar. J.H. (1999). Biostatistical Analysis. New Jersey, USA. Prentice Hall.

Zavala, F. (1998). Observaciones sobre la distribución de encino en México. *Polibotánica*. **(8)**:47-64.

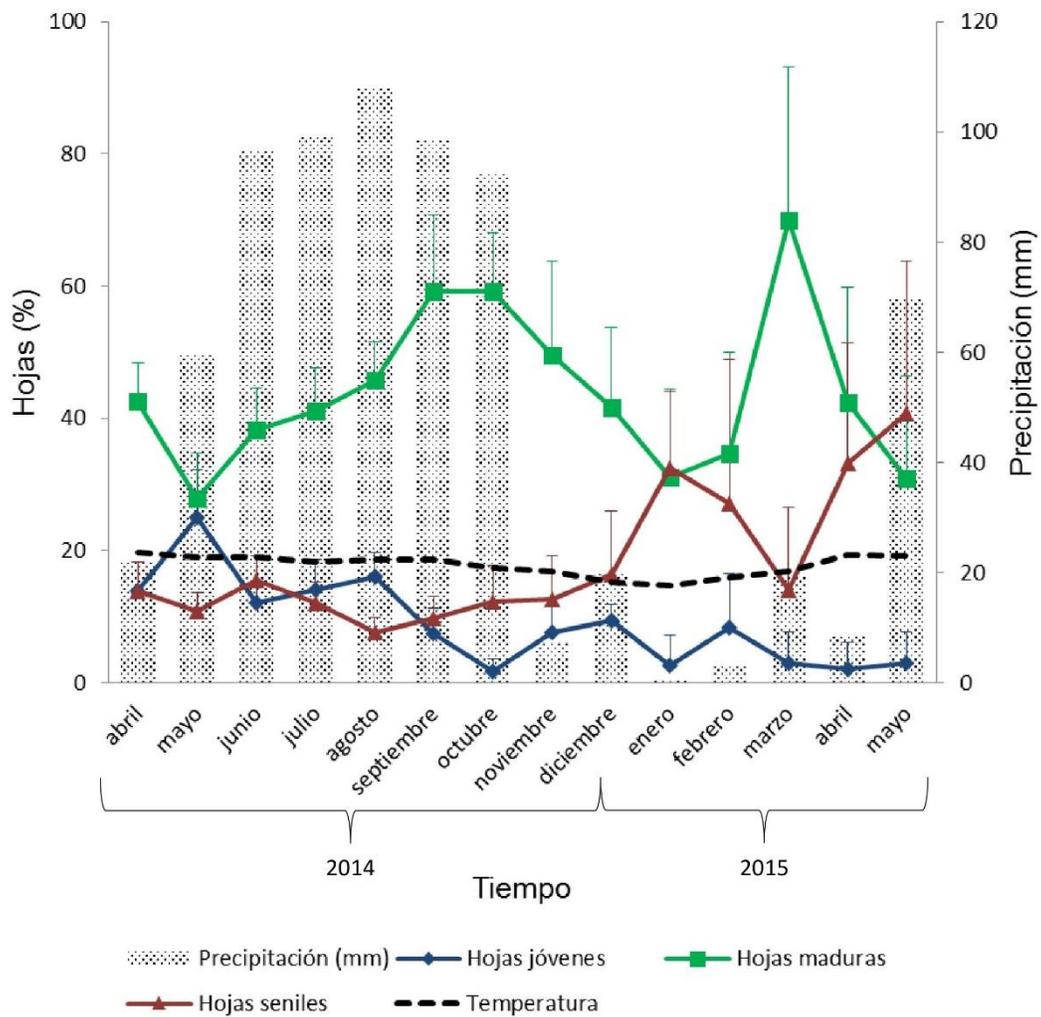
Zavala, F. (2000). El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo Sum*. **7(3)**: 269-276.

Zavala, F. (2008). Efecto del almacenamiento sobre la viabilidad y la germinación de bellotas de *Quercus rugosa* y *Quercus glabrescens*. *Revista Ciencia Forestal en México*. **33(103)**: 15-25.

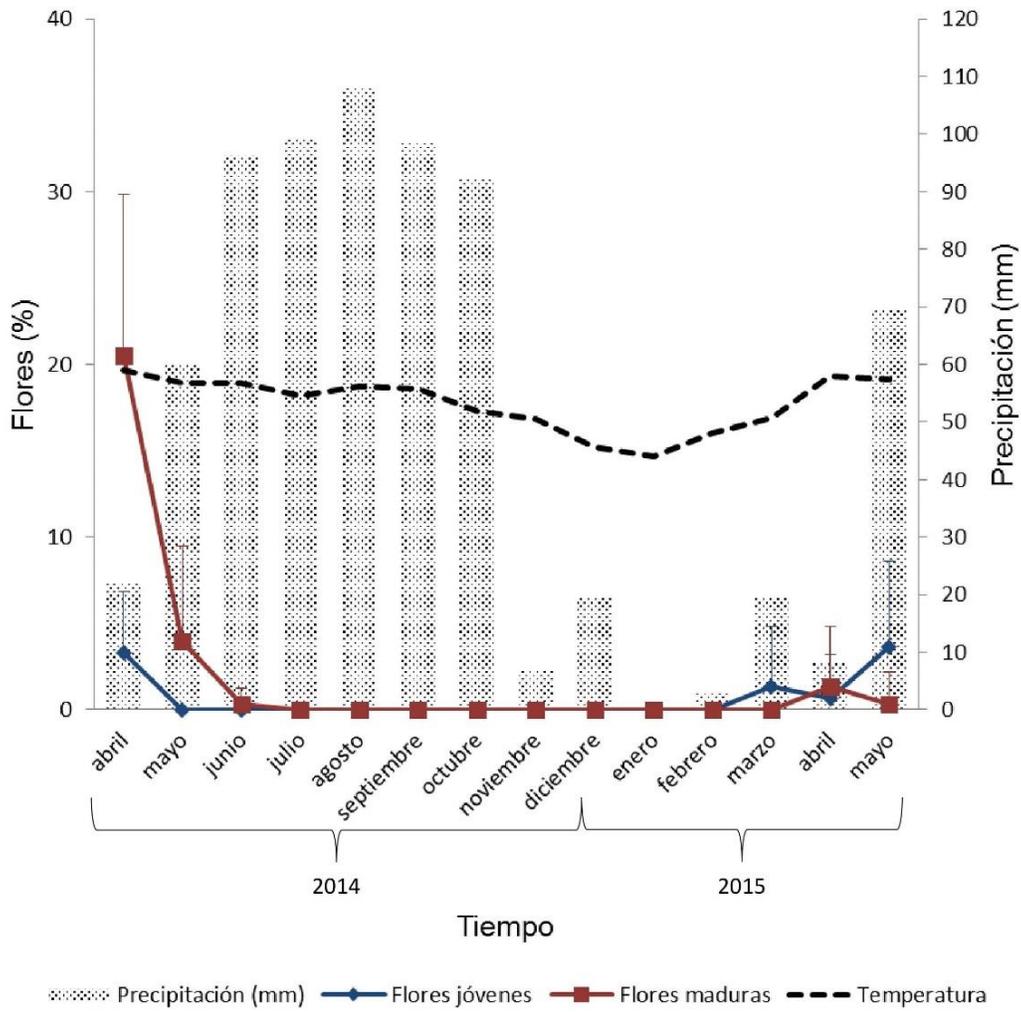
Imagen de amentos de *Quercus rugosa*:
biologia.fcencias.unam.mx/plantasvasculares/ArbolesArbustosFCiencias/Angiospermas/quercus_rugosa.html

Imagen de bellotas inmaduras de *Quercus rugosa*:
medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7642

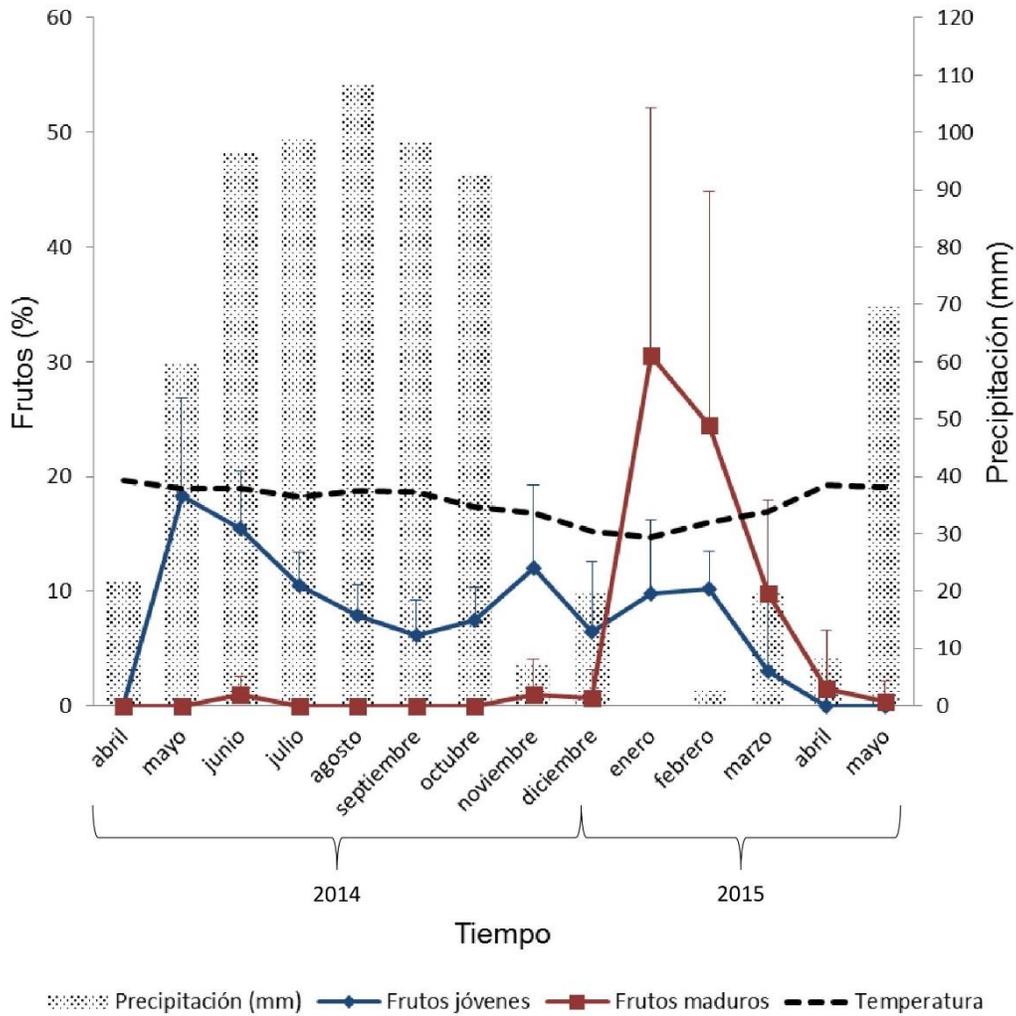
11. Apéndice



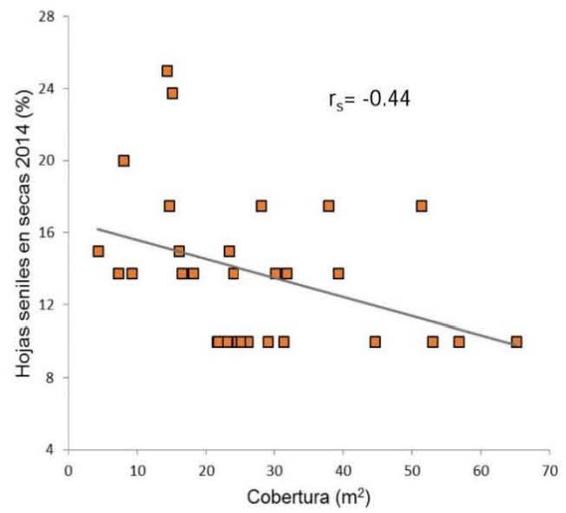
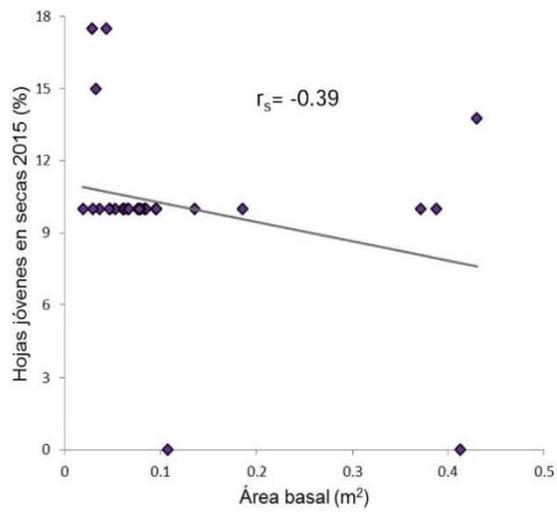
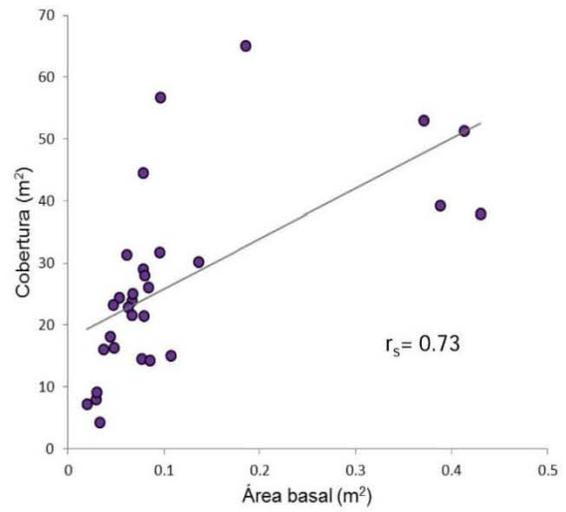
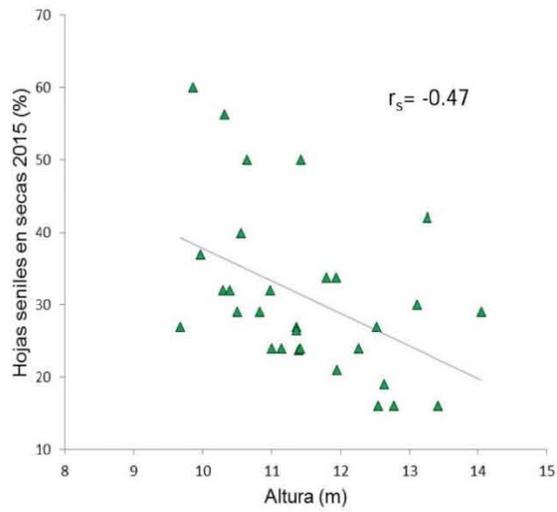
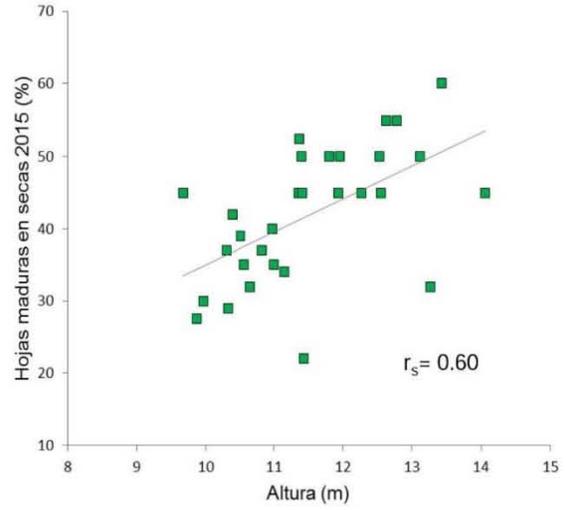
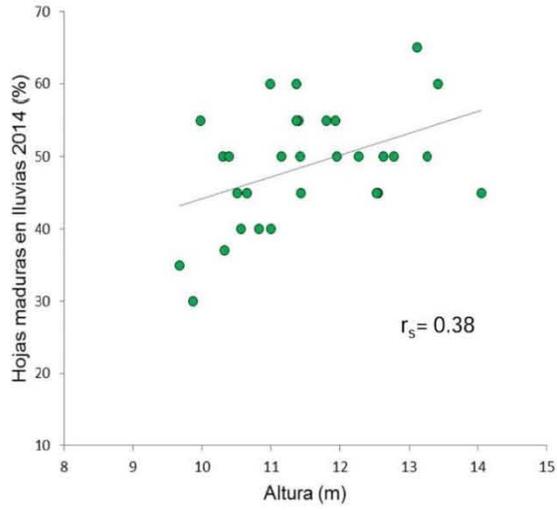
Apéndice 1. Porcentajes de hojas jóvenes, maduras y seniles, temperatura y precipitación media de la Ciudad de México de cada mes ($\bar{x} + EE$).

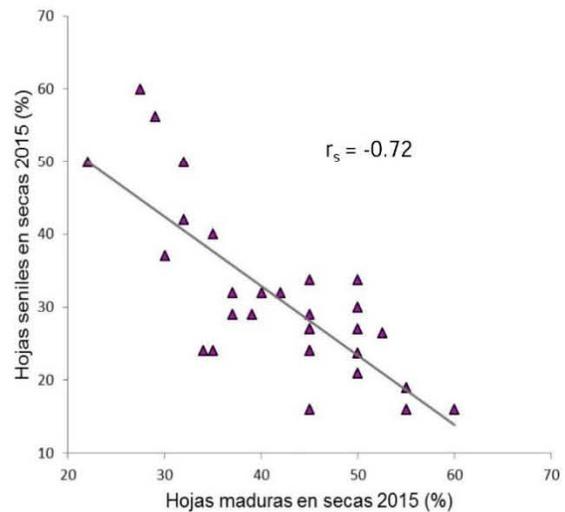
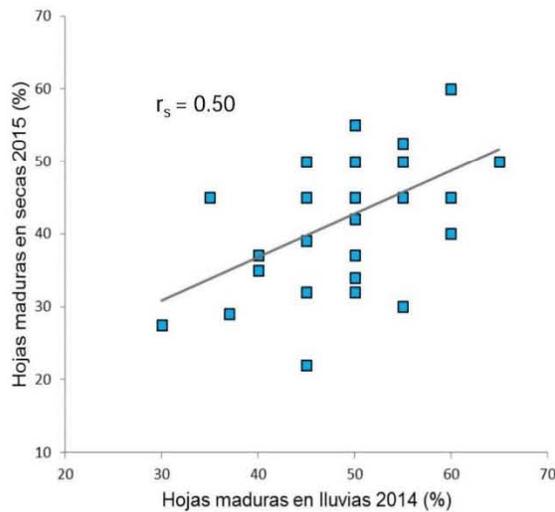
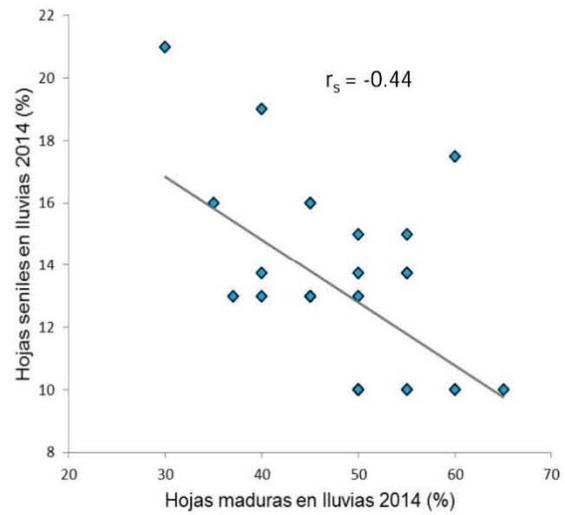
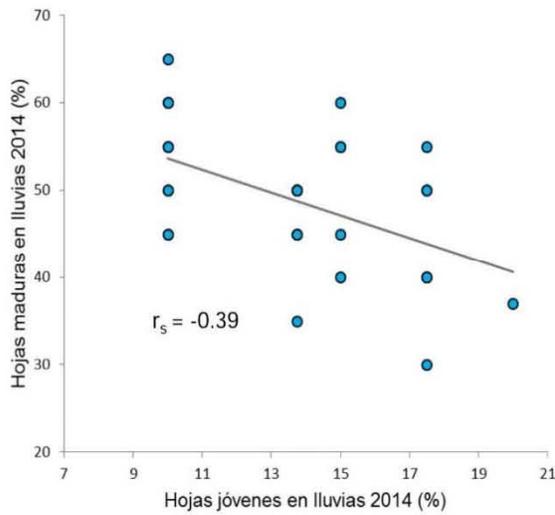
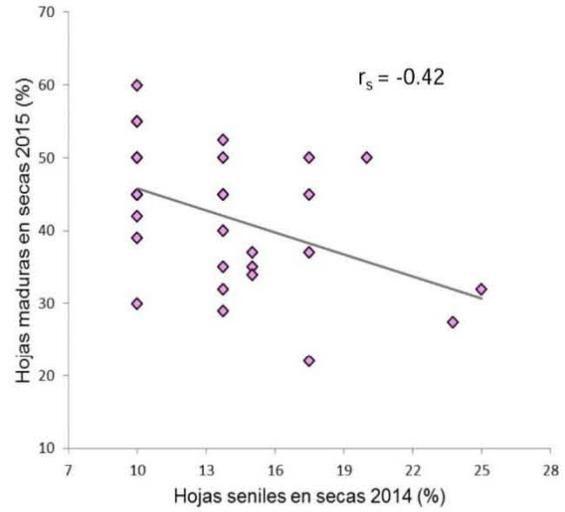
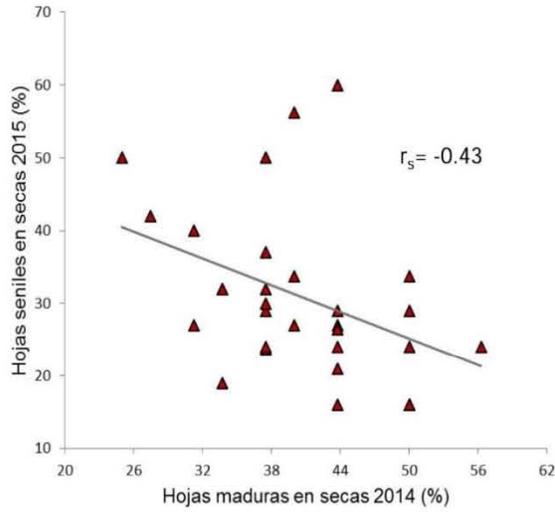


Apéndice 2. Porcentajes de flores juveniles y maduras, temperatura y precipitación media de la Ciudad de México de cada mes ($\bar{x} + EE$).

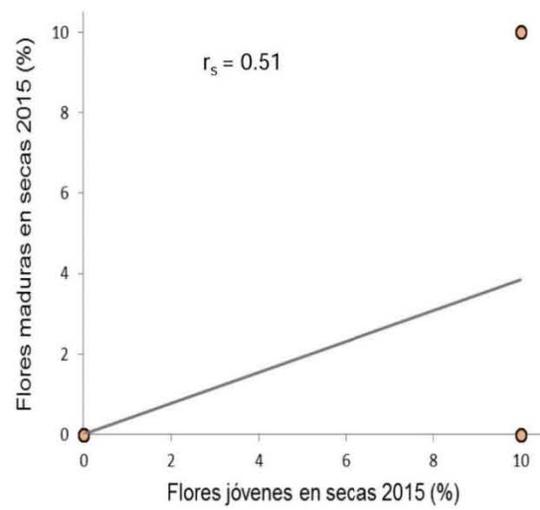
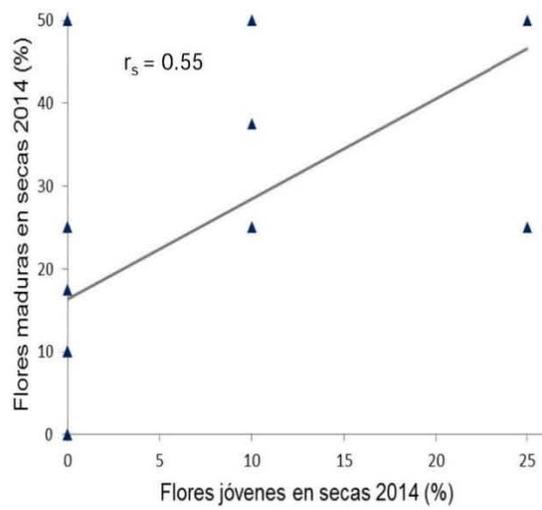
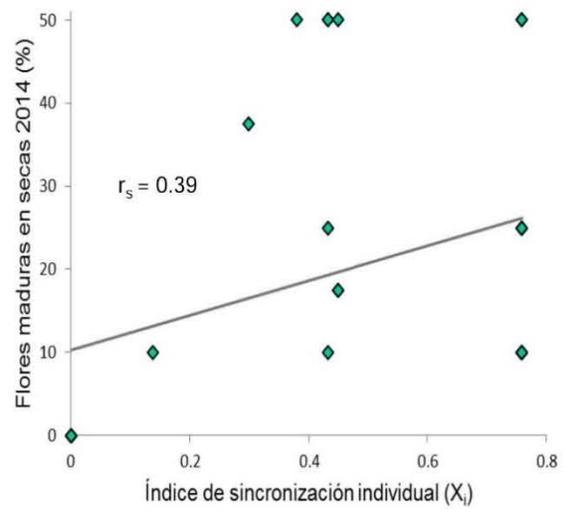
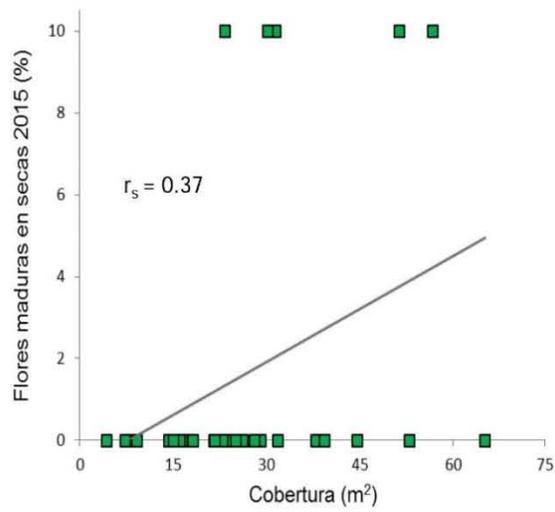
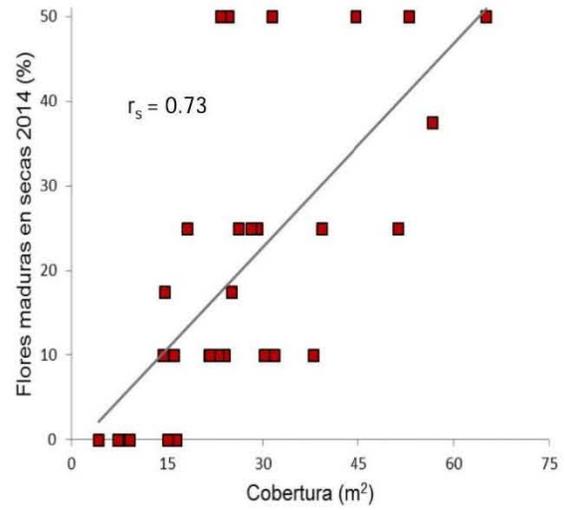
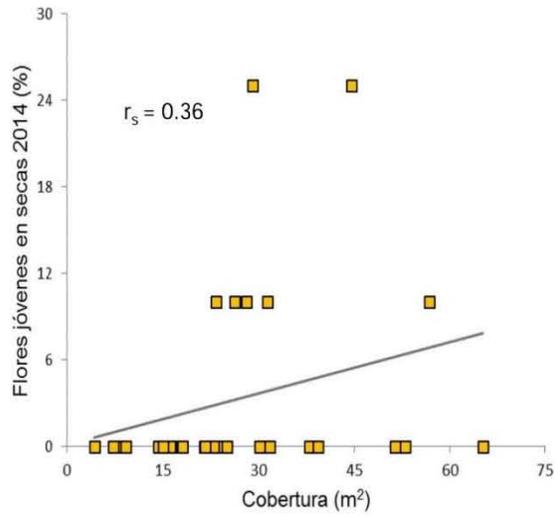


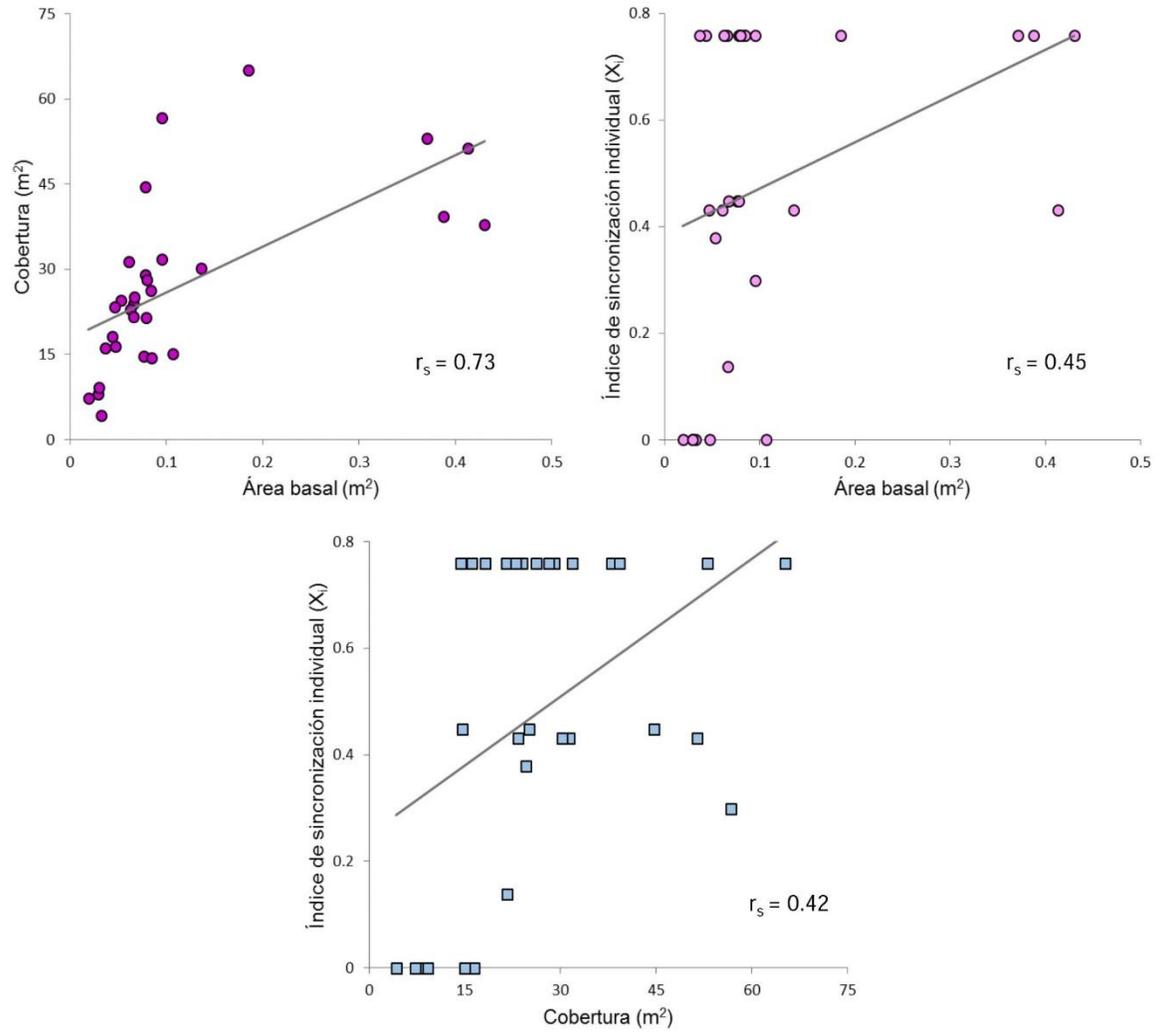
Apéndice 3. Porcentajes de frutos juveniles y maduros, temperatura y precipitación media de la Ciudad de Méico de cada mes ($\bar{x} + EE$).



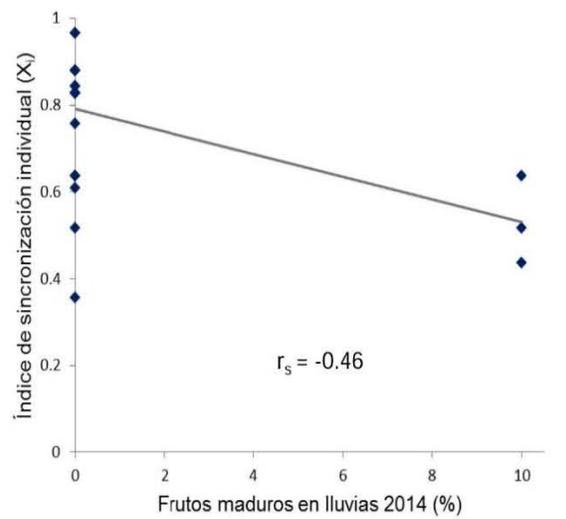
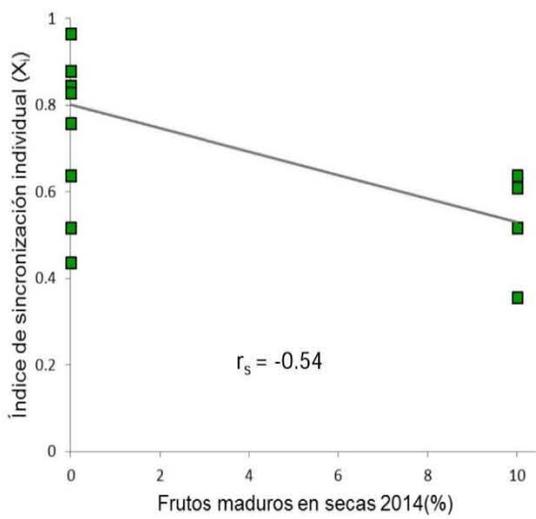
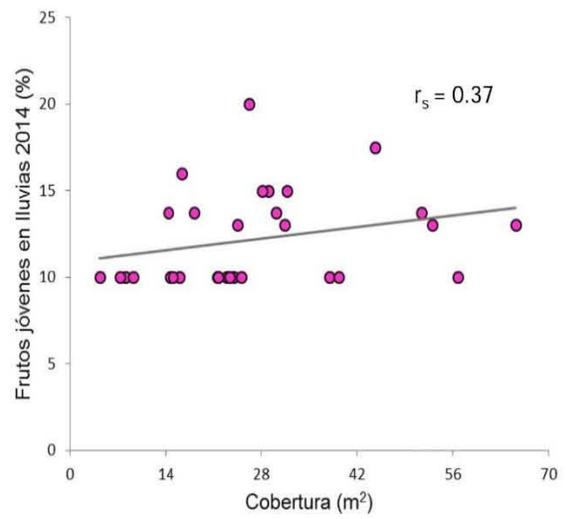
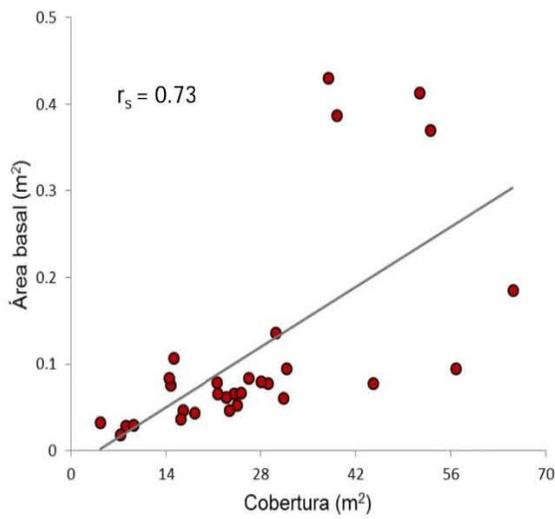
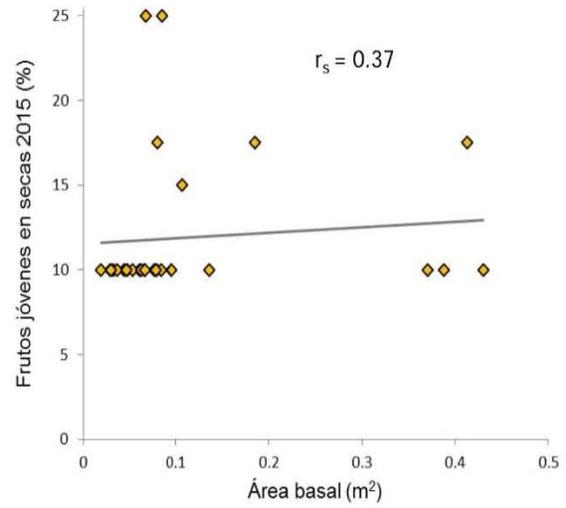
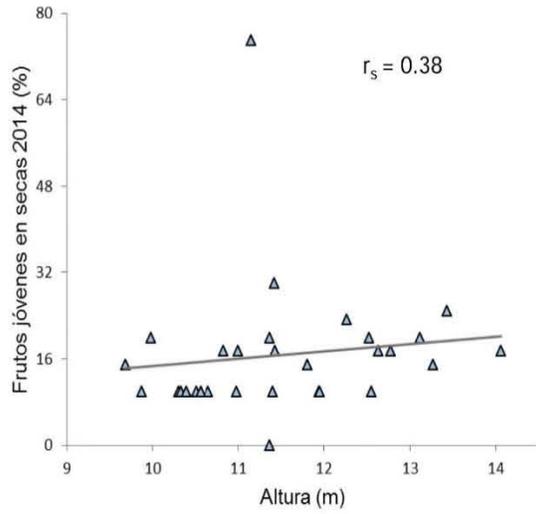


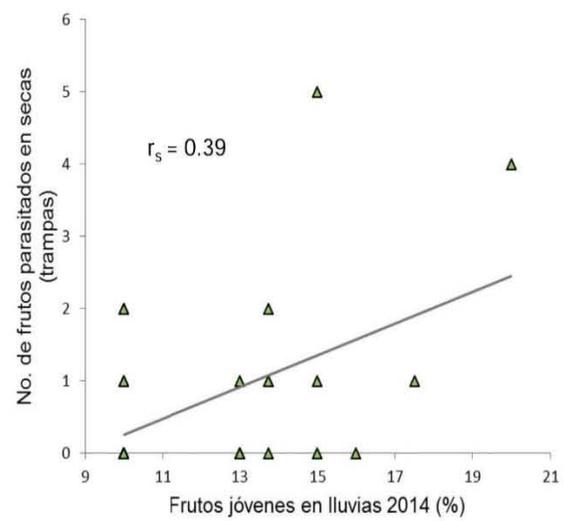
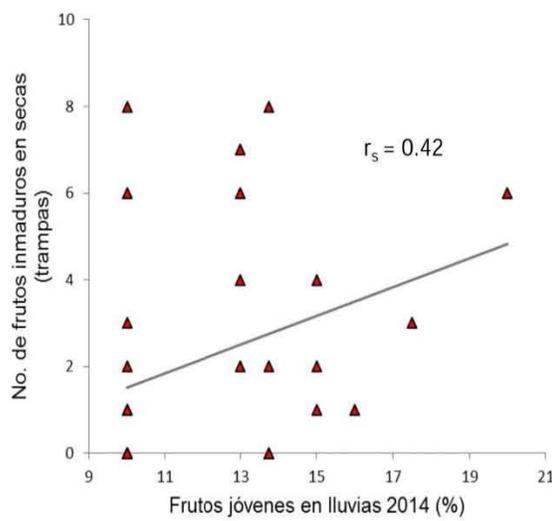
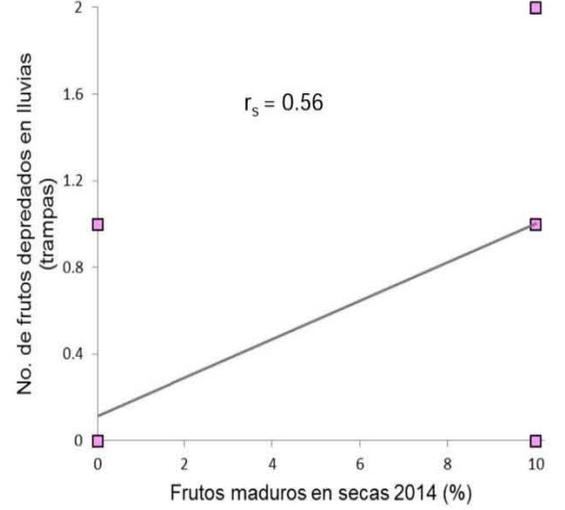
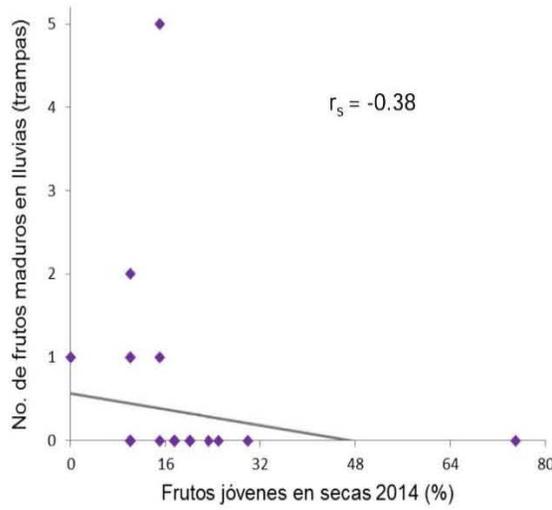
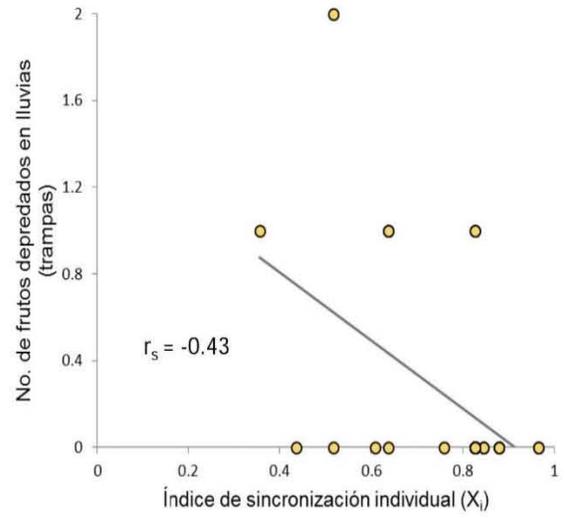
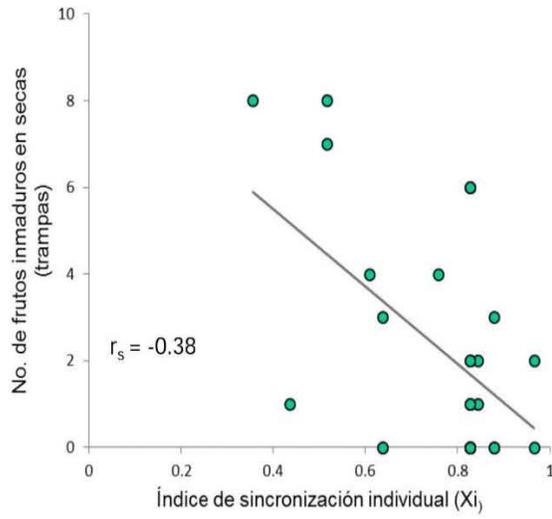
Apéndice 4. Coeficientes de las correlaciones de Spearman (r_s) entre las variables dasonómicas de los individuos y las fenofases vegetales ($P < 0.05$).

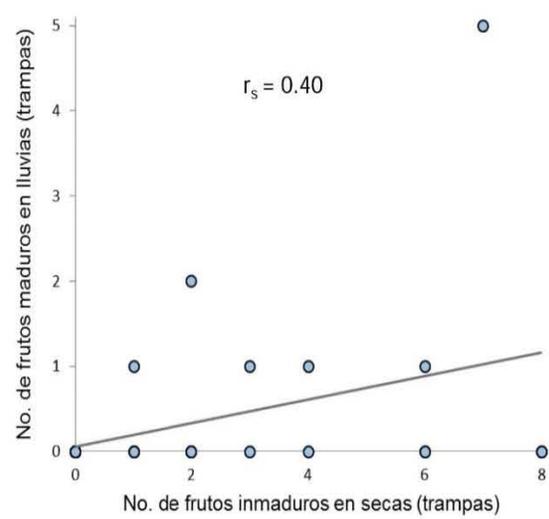
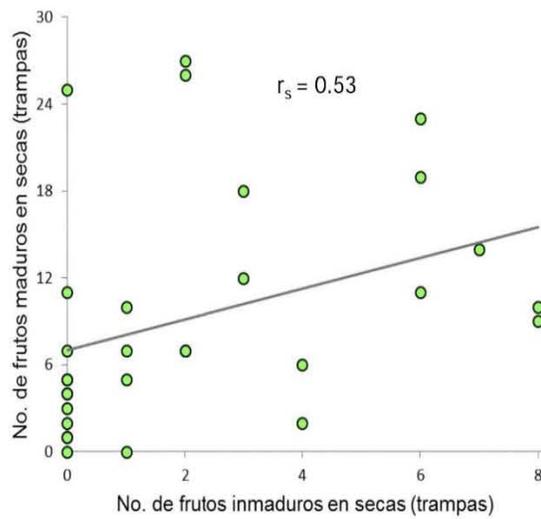
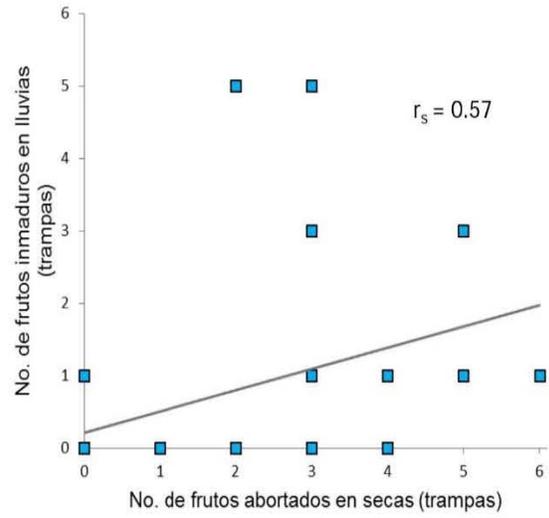
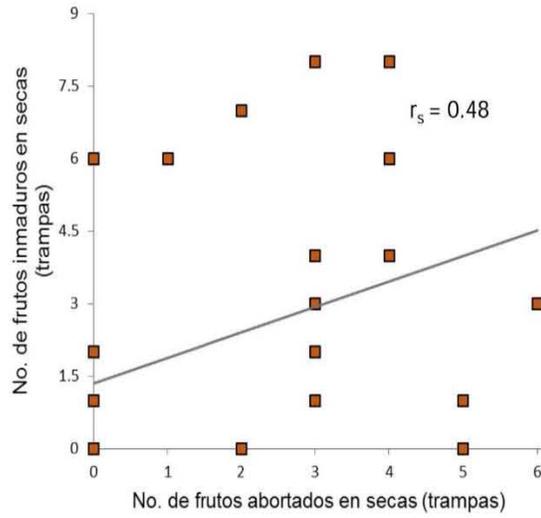
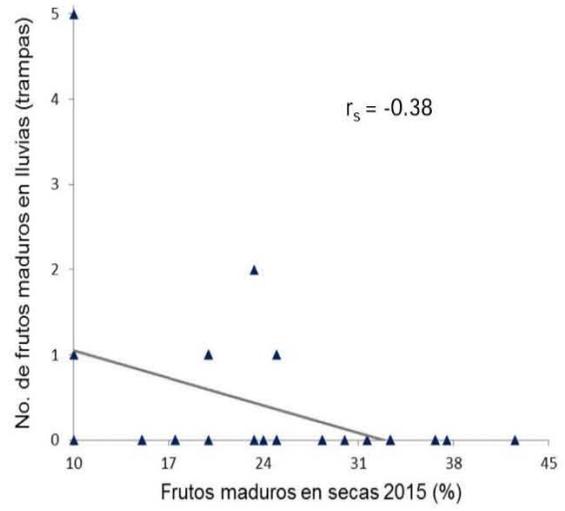
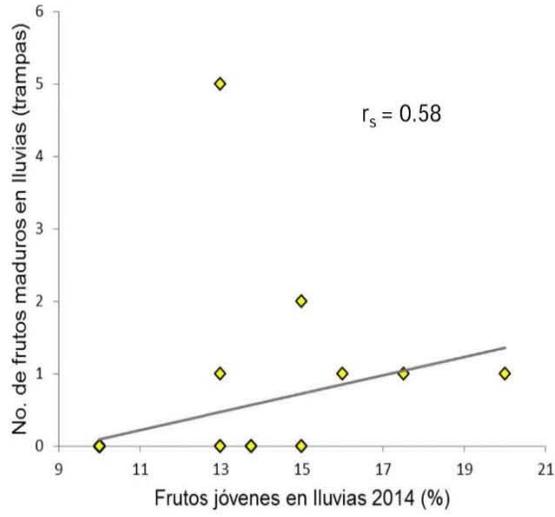


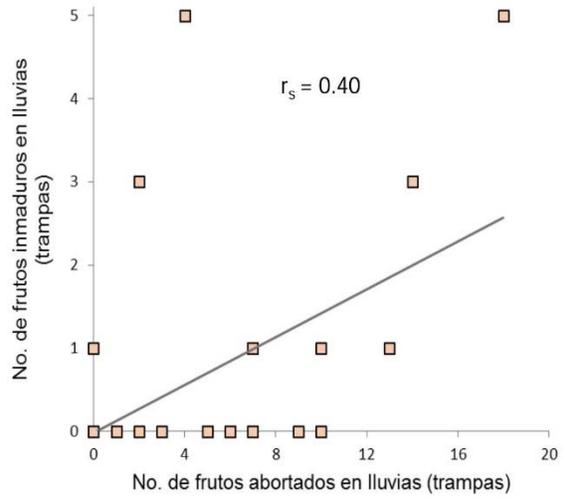
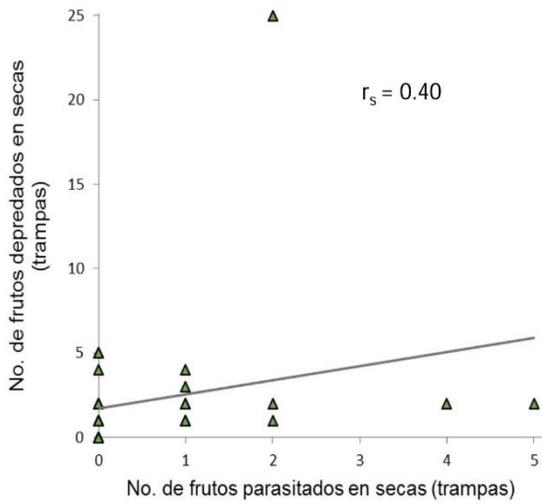
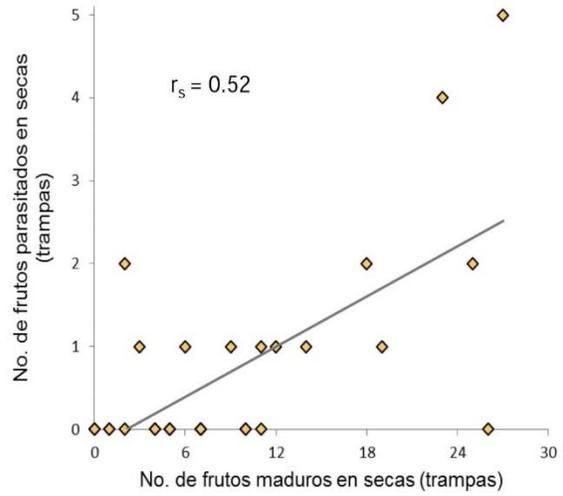
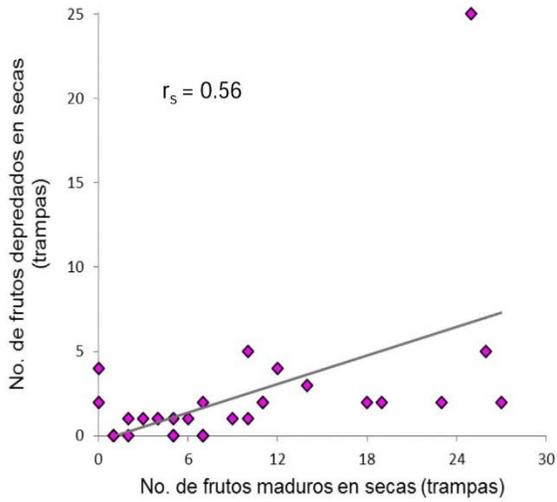


Apéndice 5. Coeficientes de las correlaciones de Spearman (r_s) entre las variables dasonómicas de los individuos y las fenofases florales ($P < 0.05$).

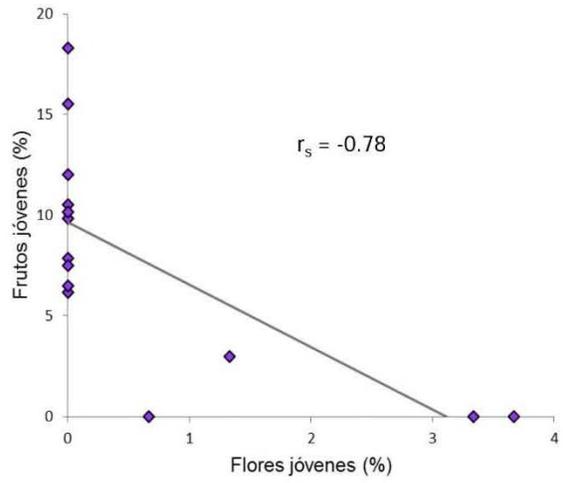
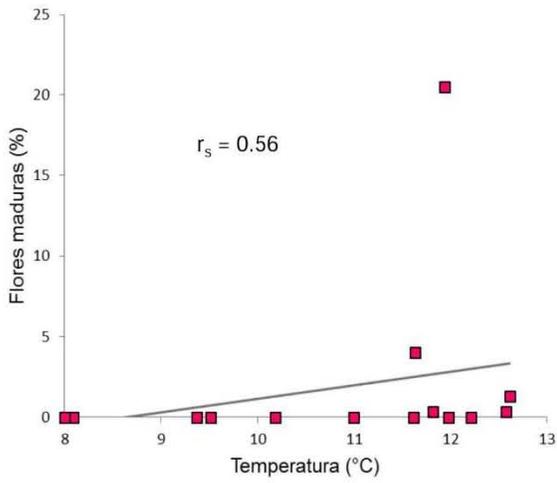
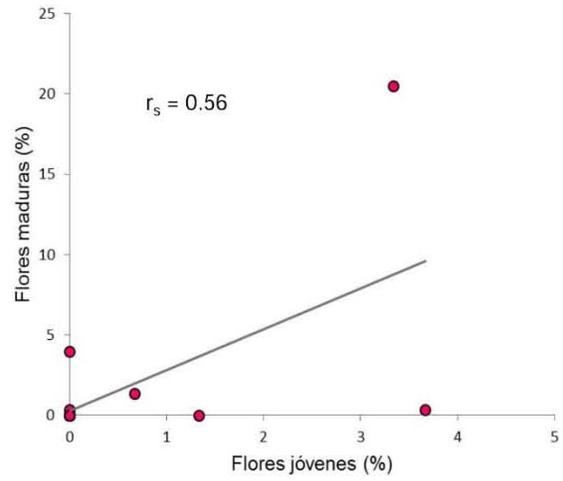
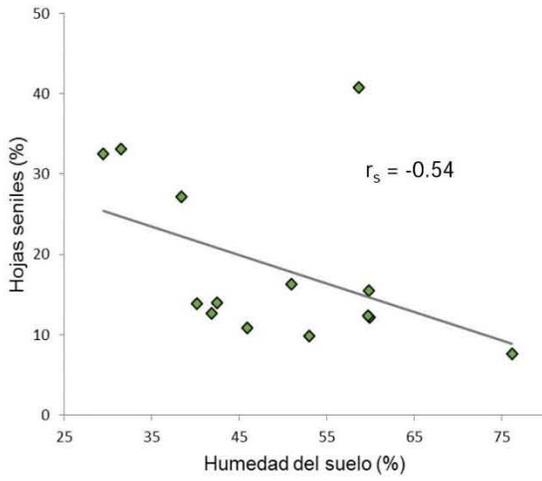
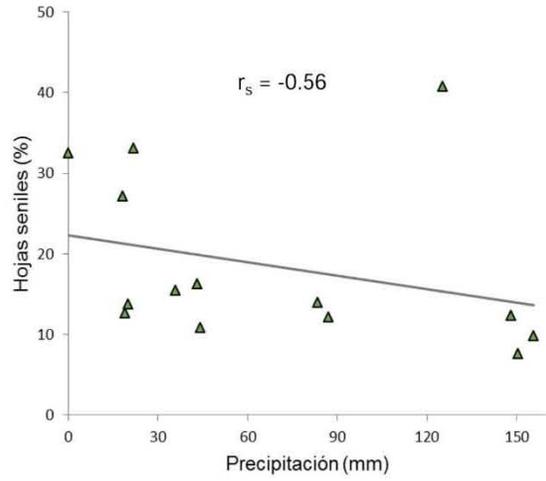
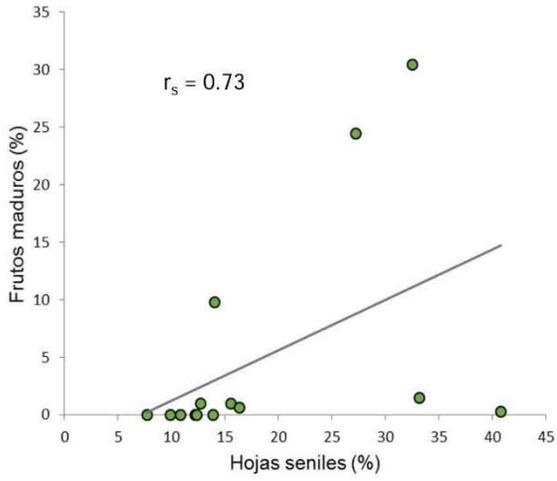


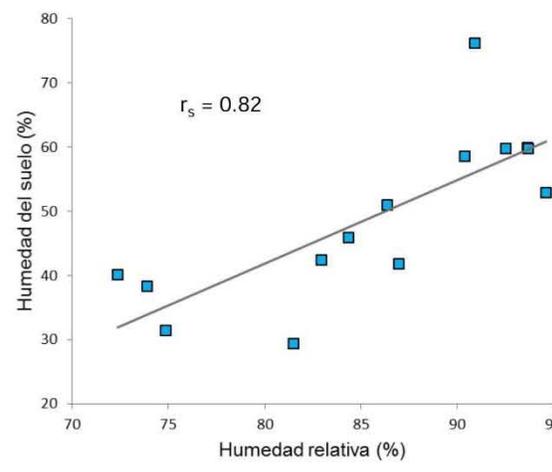
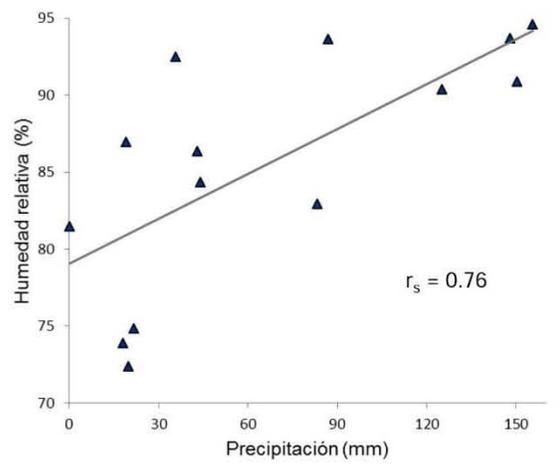
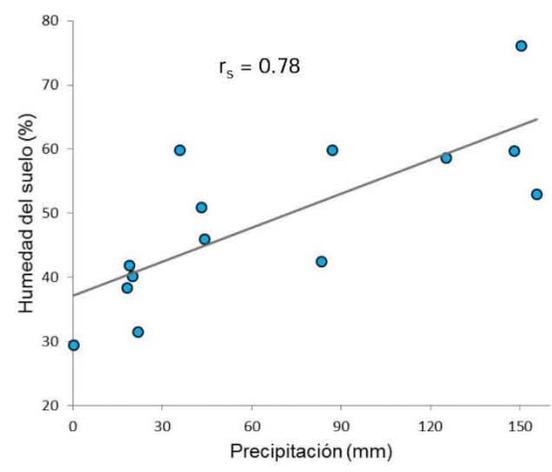
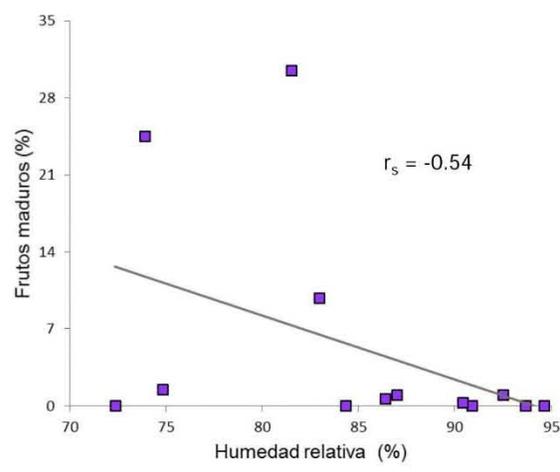
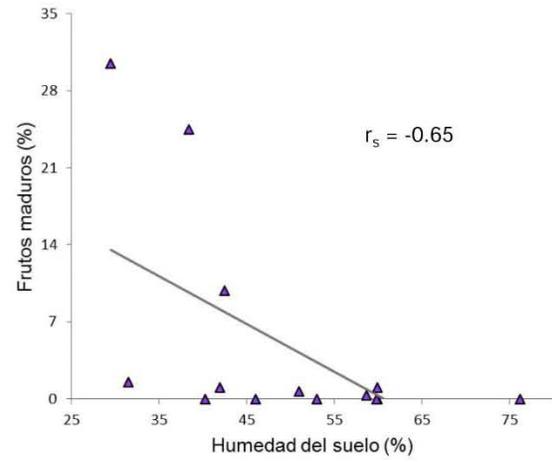
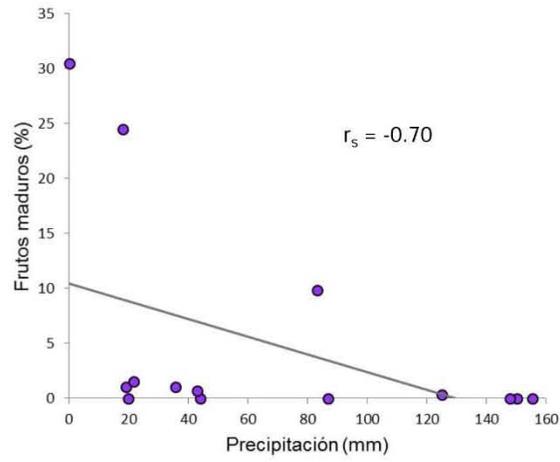






Apéndice 6. Coeficientes de las correlaciones de Spearman (r_s) entre las variables dasonómicas de los individuos y las fenofases de los frutos ($P < 0.05$).





Apéndice 7. Coeficientes de las correlaciones de Spearman (r_s) entre las variables ambientales y las fenofases foliares y reproductivas ($P < 0.05$).

Apéndice 8. Prueba U de Mann-Whitney, donde solo las variables ambientales de pH y conductividad eléctrica fueron significativas.

	pH	CE
Z	-1.9640	1.9640
valor de p	0.0495	0.0495