

Fenología reproductiva de *Prunus lundelliana* Standl. (Rosaceae), un árbol en peligro de extinción con potencial para restaurar bosques nubosos de Mesoamérica

Reproductive phenology of Prunus lundelliana Standl. (Rosaceae), an endangered tree with potential to restore cloud forests of Mesoamerica

Javier A. Rivas-Romero^{*1,2,3}, Jacob J. Alvarez-Requena^{1,3}, Vinicio Bravo-Santizo⁴

¹Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, ²Escuela de Biología, y ³Centro de Estudios Conservacionistas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala; ⁴Asociación de Desarrollo Agroforestal Integral Sostenible

*Autor al que se dirige la correspondencia: rivas.javier@usac.edu.gt

Resumen

Recibido: 15 de enero 2020 / Revisión: 29 de octubre 2020 / Aceptado: 01 de marzo 2021

La fenología estudia los cambios estacionales en los ciclos de vida de los organismos. Una utilidad de la fenología, es que permite establecer periodos en que se pueden coleccionar semillas para programas de restauración ecológica. Por lo que, de abril de 2017 a mayo de 2019, en el volcán Tacaná, San Marcos, Guatemala, se estableció la estacionalidad, variación anual, sincronía, intensidad y duración de las fenofases reproductivas de *Prunus lundelliana* Standl. Aproximadamente cada 15 días, en 10 individuos se registró la presencia e intensidad de las flores (botones y abiertas) y frutos (inmaduros y maduros). Los datos se analizaron con estadística circular, encontrándose que todas las fenofases fueron estacionales y que solo el patrón de los frutos inmaduros varió significativamente entre los dos periodos. La sincronía fue principalmente alta y la intensidad no superó el 40%. En ambos periodos las intensidades menores las presentaron los frutos maduros (17 y 25%). Los índices de actividad e intensidad se correlacionaron significativamente, por lo que los ángulos medios fueron semejantes en las fenofases y periodos de estudio. Los picos de actividad-intensidad de las flores abiertas y de los frutos maduros ocurrieron durante los meses secos (noviembre-abril), patrón que se ha registrado en otros bosques nubosos. La duración de las fenofases varió entre 2.5-3.5 meses, siendo la más pequeña la de frutos maduros. Para fines de manejo, la colecta de frutos maduros puede hacerse desde mediados de marzo hasta finales de mayo, sin embargo, se sugiere hacerlo principalmente entre el 15 de abril y el 15 de mayo.

Palabras claves: Volcán Tacaná, fructificación, floración, índice de Fournier, Guatemala

Abstract¹

Phenology studies the seasonal changes in the life cycle of organisms. Phenological data allow to set the periods in which the seeds can be collected for ecological restoration programs. From April, 2017 to May, 2019, in Tacaná volcano, San Marcos, Guatemala, it was established the seasonality, annual variation, synchrony, intensity, and duration of the reproductive phenophases of *Prunus lundelliana* Standl. About every 15 days, 10 individuals were observed and it was recorded the presence and intensity of flowers (buds and blossom flowers) and fruits (immature and mature fruits). The data was analyzed with circular statistics, finding that all the phenophases were seasonally distributed and only the immature fruits pattern significantly varied between the two periods. The synchrony was mainly high and the intensity did not exceed 40%. In both of the study periods, the lesser intensities were presented by the mature fruits (17 and 25%). The activity and intensity indexes were significantly correlated; therefore the mid angles were alike in the phenophases and study periods. The activity-intensity highs of blossom flowers and of mature fruits happened in the dry months (November to April), a pattern that has been registered in other cloud forests. The duration of the phenophases ranged from 2.5 to 3.5 months, being the shortest the mature fruits phenophase. For environmental management purposes, the collection of mature fruits can be done from the middle of March to the end of May, nonetheless, it should be done mainly between April 15th and May 15th.

Keywords: Tacaná volcano, fruiting, flowering, Fournier index, Guatemala

¹Resultados parciales se presentaron en el III Congreso Nacional del Cambio Climático. Partial results were presented at the III National Congress of Climate Change.



Introducción

El término fenología fue utilizado por primera vez por el botánico belga Charles Morren alrededor de 1850 (Demarée & Rutishauser, 2011) y se refiere al estudio de los eventos recurrentes que sufren los organismos y su relación con factores bióticos y abióticos (Lieth, 1974). Conocer los patrones fenológicos de los organismos fue de gran importancia para los grupos cazadores-recolectores, ya que necesitaban conocer los momentos y lugares donde las especies de su interés estarían presentes y/o producirían las estructuras que recolectaban (Schwartz, 2013). Sin embargo, fue hasta finales del siglo XX cuando el interés científico se hizo más evidente, principalmente por los efectos que el cambio climático puede tener en los ciclos de vida de los organismos (Cleland et al., 2007; Parmesan, 2007).

Los estudios fenológicos se han realizado mayormente en áreas templadas (Schwartz, 2013), por lo que varios investigadores destacan la necesidad de generar datos fenológicos de especies tropicales, en regiones y ecosistemas poco estudiados, como la mesoamericana y los bosques de montaña (Inouye & Wielgolaski, 2013; Mendoza et al., 2017; Morellato et al., 2013). Entre estos ecosistemas, destacan los bosques nubosos, que son especialmente susceptibles al cambio climático (Golicher et al., 2012).

Los bosques nubosos son reconocidos por la alta diversidad biológica que poseen y los importantes servicios ambientales que proveen (Eisermann & Schulz, 2005; Holder, 2006; Matson et al., 2012; Sánchez-Ramos & Dirzo, 2014; Schuster et al., 2000). Durante muchos años estos bosques han sido perturbados, fragmentados y/o convertidos en áreas agrícolas o de pastoreo, sin embargo, algunas de estas áreas han sido abandonadas y se requiere su restauración a través de diferentes estrategias, entre las cuales está la siembra de especies nativas al bosque original (Aide et al., 2010; Jardel et al., 2014; Ramírez-Marcial et al., 2008).

Las especies amenazadas deberían ser una parte importante de los proyectos de restauración, no solo en los lugares donde actualmente crecen o crecieron en el pasado reciente, sino en cualquier localidad de su rango de distribución potencial. Una de las razones para no usarlas ha sido la carencia de grandes cantidades de semillas, así como el desconocimiento de su biología reproductiva y de los métodos de propagación y siembra (Volis, 2016). Una de las utilidades de establecer los patrones fenológicos de las plantas es que se puede saber con precisión cuando hay disponibilidad

de semillas en cantidad y calidad, lo que permite planificar de mejor forma su cosecha para los programas de restauración, y de manejo y conservación forestal (Buisson et al., 2017; Kettle, 2012; Montagnini, 2005; Newton, 2011; Núñez-Cruz et al., 2018; Ochoa-Gaona et al., 2008).

Por ello, en este estudio se planteó determinar las fenofases reproductivas de *Prunus lundelliana* Standl. (cercillo) (Figura 1), una especie considerada en peligro de extinción (Ramírez-Marcial & González-Espinosa, 2011), que se distribuye principalmente en bosques nubosos de Chiapas (México) y Guatemala entre 1,275-2,100 m s. n. m., aunque también con registros en otros estados del sureste de México, Honduras y El Salvador (Pérez-Zabala, 2014; Standley & Steyermark, 1946; Villaseñor, 2016).

La información generada en este estudio, permitirá recolectar sus semillas para su posterior propagación en viveros que produzcan plantas para programas de restauración. En específico se analizó: (a) estacionalidad, (b) variación anual, (c) sincronía (índice de actividad), (d) intensidad (índice de Fournier) y (e) duración principal, de cada fenofase reproductiva

Materiales y Metodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el volcán Tacaná y su área de influencia, específicamente en los bosques nubosos del parque municipal Canjulá y de la aldea Vega del Volcán, municipio de Sibinal, departamento de San Marcos, ambos aproximadamente a 2,700 m s. n. m. (Figura 2).

El volcán Tacaná (latitud 15.131667° N, longitud -92.108333° W) sirve de límite entre México y Guatemala, es el segundo volcán más alto de Guatemala y de Centroamérica en general (Gall, 1983). En Guatemala este volcán y su área de influencia abarcan 31.50 km², de los cuales 29.7% (9.35 km²) corresponden a la Zona de Veda Definitiva. Altitudinalmente va desde 2,250 m s. n. m. en la aldea Chocabj hasta 4,092.63 m s. n. m. en la cumbre del volcán. La vegetación dominante por debajo de 2,800 m s. n. m. es latifoliada del tipo nuboso, entre 2,800 y 3,100 m s. n. m. se encuentra vegetación mixta y la parte superior del volcán es dominada por coníferas (principalmente *Pinus hartwegii* Lindl.) (Rivas, 2015). La temperatura media anual registrada en la estación “San Marcos” que se localiza en el municipio de San Marcos (latitud 14.954167°

Figura 1

Estructuras reproductivas de Prunus lundelliana. (a) botones florales, (b) flores abiertas, (c) frutos inmaduros, (d) frutos maduros



N, longitud -91.809444° W; 2,420 m s. n. m.), es de 13.5°C y la precipitación media anual de 1,639.14 mm (valores medios calculados de los registros de 2010-2017). La temporada seca inicia en noviembre y finaliza en febrero (< 30 mm) y la lluviosa de mayo a octubre; marzo y abril se consideran transicionales con precipitaciones menores a 100 mm. Esta estación es la más cercana al área de estudio (aproximadamente a 35 km) y es administrada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Método

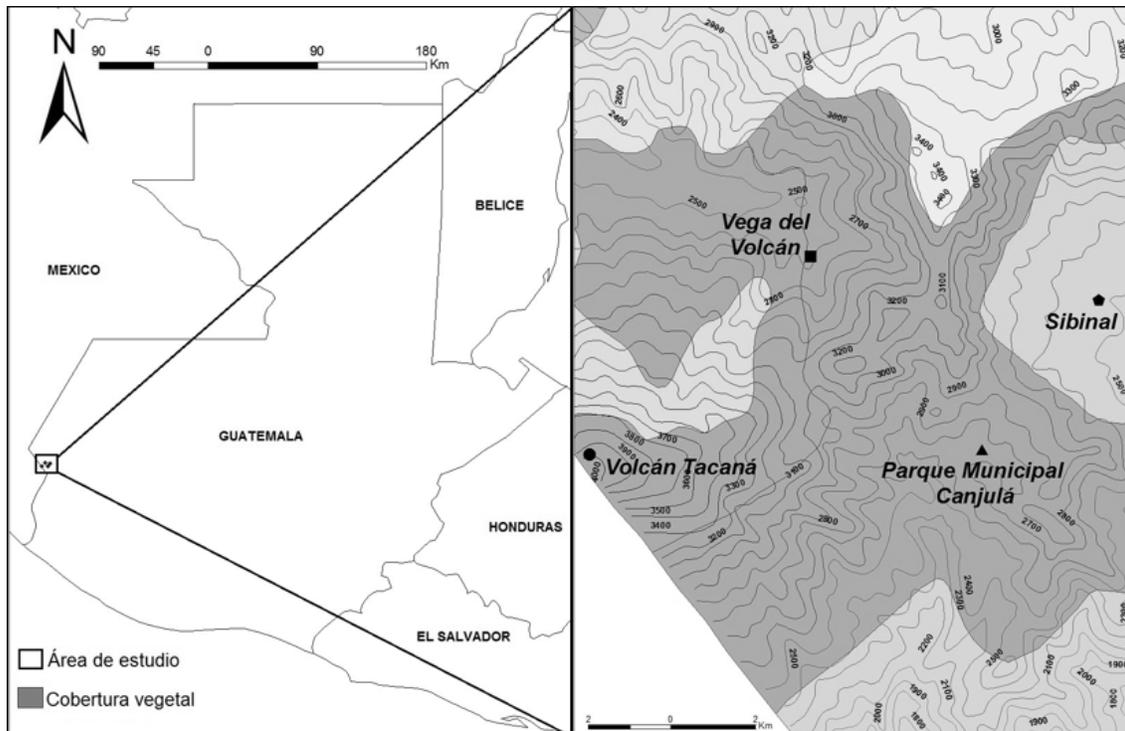
A la orilla de senderos del bosque del parque municipal Canjulá y de la aldea Vega del Volcán, se seleccionaron 10 árboles adultos de *P. lundelliana* que tuvieran la copa visible y un diámetro a la altura del pecho igual o mayor a 10 cm ($\text{DAP} \geq 10$ cm). Diez

individuos es una muestra aceptable si el monitoreo es frecuente (como fue en este estudio) (Morellato, Camargo et al., 2010).

Para su identificación, cada individuo se marcó con pintura de aceite y se le asignó un código (las coordenadas y medidas de los árboles monitoreados se presentan en archivos complementarios).

Se siguió el método sugerido por Morellato, Camargo y colaboradores (2010), en el cual con la ayuda de binoculares (9 X 45), aproximadamente cada 15 días (14.2 ± 1.7 días; rango 11-19 días), de abril de 2017 a mayo de 2019 (con excepción de septiembre de 2017, abril de 2018 y mayo de 2018 cuando el registro fue mensual, y junio de 2018 y diciembre de 2018 donde no fue posible realizarlo) se registraron las fenofases reproductivas (botones florales, flores abiertas, frutos inmaduros y frutos maduros) que presentaron los individuos.

Figura 2
Ubicación de las localidades de estudio



Para establecer si las fenofases se distribuyen estacionalmente se aplicó estadística circular (Morellato, Alberti et al., 2010; Zar, 1999), utilizando el programa Oriana 4.02 (Kovach, 2011). Para ello las fechas de las observaciones se convirtieron a ángulos con intervalos de 15° aproximadamente (el ángulo exacto dependió de la fecha de la observación, que fue cada 11-19 días), utilizando la fórmula $a = 360X/k$, donde a es la dirección angular en grados, X es el día del año correspondiente a la fecha de observación y k es el tiempo total de un ciclo completo; para este caso un año o 365 días. Los parámetros calculados fueron: ángulo medio (\bar{a}), longitud del vector medio (r), desviación angular y los límites de confianza de \bar{a} (Zar, 1999). El ángulo medio corresponde al centro del periodo de ocurrencia de cada fenofase. La longitud del vector medio indica la concentración temporal de la actividad fenológica alrededor del ángulo medio y permite determinar si los eventos fenológicos se distribuyen uniformemente a lo largo del año o si lo hacen estacionalmente (Morellato, Alberti et al., 2010). Para confirmar la estacionalidad anual, se realizó la prueba Z de Rayleigh, que establece la significancia del ángulo medio.

Para determinar si los patrones fenológicos variaron entre los periodos muestreados, se aplicó la prueba F de Watson-Williams (Zar, 1999).

De acuerdo con la cantidad de individuos que presentó una determinada fenofase, se calculó el índice de actividad (IA) (sincronía) propuesto por Bencke y Morellato (2002b). Este índice muestra la proporción de individuos que presenta determinada fenofase en una población en un tiempo determinado; cuando menos del 20% de los individuos manifiestan la fenofase, se considera que hay asincronía, cuando la fenofase ocurre entre el 21 y 60% de los individuos, se considera que la sincronía es baja, mientras que cuando más del 60% de los individuos presentan la fenofase, la sincronía es alta.

Además, se cuantificó la intensidad de cada fenofase mediante la ponderación sugerida por Fournier (1978), la cual va de cero a cuatro (0: ausencia, 1: 1-25%; 2: 26-50%; 3: 51-75%, 4: 76-100% de actividad en cada fenofase). Para estimar el índice de Fournier (FI) en porcentaje (intensidad de la fenofase) se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%FI = \left[\sum_{i=1}^n \frac{xi}{n * 4} \right] * 100$$

Donde n es el número de individuos muestreados y xi es el valor asignado a cada individuo i en la escala de 0 a 4 (Morellato, Camargo et al., 2010).

Los índices de actividad y de intensidad de Fournier proporcionan información distinta y complementaria, optimizan la recopilación de los datos y hacen que el análisis e interpretación de los patrones fenológicos sea más simple y directo (Bencke & Morellato, 2002a). El índice de actividad es un valor objetivo que es rápida y fácilmente obtenido en campo, mientras que el índice de intensidad es subjetivo y requiere entrenamiento para su obtención, pero posibilita identificar los picos de actividad. Para estimar la relación estadística entre ambos índices se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (r_s).

La duración principal de cada fenofase se estableció a partir del valor del ángulo medio (\bar{a}) ± 1 desviación estándar, para que abarcara el 68% del periodo de actividad de cada estructura reproductiva. Para indicar los periodos, los valores angulares de \bar{a} y de la desviación estándar se convirtieron en fechas a través de esta fórmula $X = \bar{a}k/360$, donde X es el día del año y k es el tiempo total de un ciclo completo, es decir, 365 días

Resultados

En ambos periodos de estudio (abril de 2017 a marzo de 2018 y abril de 2018 a mayo de 2019) todas las fenofases se distribuyeron estacionalmente (Tabla 1). Los valores más altos de r los presentaron los frutos maduros (.81 para la intensidad en el primer periodo y .74 para la actividad en el segundo). Todos los valores de r fueron significativos (Z de Rayleigh, $p < .001$).

La prueba F de Watson-Williams indica que únicamente la fenofase fruto inmaduro fue significativamente diferente en los dos periodos de estudio ($p < .05$). En el resto de fenofases, aunque hubo diferencias en el ángulo medio (\bar{a}), no fueron significativas (Tabla 1).

En el ángulo medio la sincronía de la mayoría de las fenofases fue alta, a excepción de los botones florales y los frutos maduros del periodo abril de 2018 a mayo de 2019 donde fue baja, aunque hay que considerar que durante este periodo, dos de los individuos no desarrollaron estructuras reproductivas (Figuras 3 y 4).

En cuanto a la intensidad, en el ángulo medio, la misma en general no superó el 40%. La intensidad menor se registró en los frutos maduros del primer periodo, donde solo alcanzó 17.5%, mientras que el porcentaje mayor lo mostraron las flores abiertas en el segundo periodo con 37.5% (Figuras 3 y 4).

Como las gráficas (Figuras 3 y 4) sugerían semejanza entre los porcentajes de actividad e intensidad, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (r_s) para evidenciar estadísticamente dicha tendencia (Tabla 2). Todas las correlaciones fueron positivamente significativas, por lo que los ángulos medios (\bar{a}) fueron semejantes en todas las fenofases y periodos de estudio (Tabla 1). En el caso de los botones florales (Figura 3a), los picos de actividad-intensidad ocurrieron al final de la temporada lluviosa (octubre), y los de las flores abiertas (Figura 3B) al final de la primera parte de la temporada seca (diciembre). En el caso de los frutos inmaduros (Figura 4A), donde hubo diferencia significativa entre los periodos de estudio, en el primer periodo los picos de actividad-intensidad se registraron al final de la temporada seca (febrero), mientras que, en el segundo periodo en marzo, que es cuando ocurre la transición entre la temporada seca y la lluviosa. Por su parte, los picos de actividad-intensidad de los frutos maduros (Figura 4B) fueron al inicio de la temporada lluviosa (abril-mayo).

Para establecer la duración principal de cada fenofase, se tomó la definida por el índice de intensidad de Fournier, ya que en general presentó los valores más altos de r y los menores de desviación estándar (SD) (Tabla 1). La duración de los botones florales fue de 3 meses (septiembre-noviembre), al igual que la de las flores abiertas (noviembre-enero). Para los frutos inmaduros, la duración principal fue de 3.5 meses en ambos periodos de estudio, con la diferencia que en el primer periodo estuvieron presentes principalmente de mediados de diciembre hasta marzo, y en el segundo periodo desde febrero hasta mediados de mayo. Los frutos maduros fueron los que presentaron una duración menor (2.5 meses), la cual fue de mediados de marzo hasta mayo (Tabla 1).

Discusión

El género *Prunus* posee aproximadamente 450 especies, las cuales se encuentran principalmente en zonas templadas de América del norte y Eurasia (Pérez-Zabala, 2014), donde en general presentan

patrones fenológicos estacionales (Koike et al., 2008; Thompson & Willson, 1979) y con poca variación interanual (Jeanneret & Rutishauser, 2010; Taylor, 1974) tal como lo encontrado en la mayoría de las fenofases de *P. lundelliana*. Sin embargo, hay especies que no siguen este patrón (Fidalgo, 2019; Heiling & Gilbert, 2016) y otras donde el cambio climático está provocando variaciones (Doi, 2007; Kai et al., 1993; Primack et al., 2009).

Aunque el ángulo medio de los frutos inmaduros fue significativamente diferente entre los periodos de estudio, el patrón general de esta fenofase se mantuvo durante los dos periodos, es decir, los primeros frutos inmaduros aparecieron en octubre y los últimos mediados de mayo (Figura 4A), por lo que es probable que la tendencia sea a no variar entre años, tal como lo mostraron las otras fenofases. Esto podría comprobarse si se ampliara el monitoreo fenológico durante más años (por lo menos cinco), tal como lo recomiendan Morellato y colaboradores (2018) y Sakai y Kitajima (2019). Morellato y colaboradores (2018) afirman que monitoreos a largo plazo generan datos que permiten establecer claramente los ciclos fenológicos de las plantas, así como los factores que desencadenan las fenofases y la respuesta de las plantas al cambio climático.

La alta sincronía que mostró *P. lundelliana* en la mayoría de fenofases puede ser una estrategia para aumentar su éxito reproductivo, al permitir que sus polinizadores y dispersores accedan a sus recursos (néctar y frutos) en la mayoría de los individuos de la población al mismo tiempo, lo cual ha sido documentado en varias especies y ecosistemas. Por ejemplo Boulay y colaboradores (2007) lo hicieron en el sur de España, en la planta mirmecocora *Helleborus foetidus* L.; López de Buen y Ornelas (2001) en el muerdago *Psittaranthus schiedeanus* (Schltdl. & Cham.) Blume ex Schult. en un remanente de bosque mesofilo de montaña en el centro de Veracruz, México; Pires y colaboradores (2014) en *Senefeldera verticillata* (Vell.) Croizat en el interior de fragmentos de bosque cercanos a claros para gasoductos y líneas eléctricas ubicados en una selva tropical de tierras bajas en el su- reste de Brasil, y Rodríguez-Pérez y Traveser (2016) en *Hypericum balearicum* L. en dos localidades de las Islas de Mallorca, España. Esto cobra mayor relevancia en el caso de los frutos maduros, donde la producción fue baja (índice de intensidad 17.5% en el primer periodo y 25% en el segundo periodo), por lo que cuantos más individuos presenten frutos, mayor será la probabilidad de que los mismos sean consumidos y posteriormente dispersados.

Baja producción de frutos también ha sido documentada en otras especies de *Prunus* (Guitian, 1993; Sutherland & Delph, 1984). En el caso de *Prunus mahaleb* L., se considera que este patrón está asociado a las hipótesis del aborto selectivo y a la de conservación de ovarios; la primera plantea que pocos frutos maduran porque cuando están inmaduros, muchos son de baja calidad y para no aportarles más recursos, son abortados, mientras que la segunda postula que las plantas producen muchas flores con la intención de tener una reserva de ovarios en caso de que si ocurre alguna perturbación durante la floración, se podrá garantizar una producción mínima de frutos (Guitian, 1993, 1994). Aunque en *P. lundelliana* la producción de flores no fue mucho mayor a la de frutos maduros, si convendría evaluar si algunas de estas dos hipótesis u otros factores explican la baja producción de frutos maduros.

Ramírez-Marcial y colaboradores (2003) e Ibarra-Manríquez y colaboradores (2015) son los únicos que proporcionan datos sobre los periodos de floración y fructificación de *P. lundelliana*, los primeros reporta la floración de septiembre a octubre y la fructificación de febrero a marzo, mientras que los segundos solo la fructificación en marzo; ninguno de estos periodos incluyen los picos de actividad-intensidad encontrados para estas fenofases en el estudio, sin embargo, si coinciden parcialmente con los periodos registrados (Figuras 3B y 4B), principalmente para la fructificación. Tales diferencias pueden deberse a dos razones, la primera es que la información fenológica no es el énfasis en ninguna de las dos publicaciones, y la segunda a que los datos fenológicos aportados por Ramírez-Marcial y colaboradores (2003) son para una amplia área del estado de Chiapas y los de Ibarra-Manríquez y colaboradores (2015) se circunscriben a la región de Los Tuxtlas, en el estado de Veracruz (México), donde las condiciones climáticas difieren de las encontradas en el área de estudio. Aun así, es probable que *P. lundelliana* presente patrones fenológicos similares en otras localidades con condiciones climáticas y topográficas similares a las presentes en el área de estudio, aunque esto debe confirmarse realizando más estudios.

Los picos de actividad-intensidad de las flores abiertas y de los frutos maduros coinciden con los mostrados por las plantas de otros bosques nubosos de la región, donde ambas fenofases ocurren principalmente durante los meses secos o con poca precipitación (Camacho & Orozco, 1998; Solórzano et al., 2010).

Con respecto a la duración de las fenofases, en la Reserva de Biosfera El Triunfo (Chiapas), donde las

Tabla 1

Parámetros obtenidos mediante estadística circular para la actividad (Ac) e intensidad (In) de las fenofases reproductivas de *Prunus lundelliana* (bf: botones florales, fl: flores, fi: frutos inmaduros, fm: frutos maduros), de abril/2017 a mayo/2019 en el área de influencia del volcán Tacaná, San Marcos-Guatemala

| Parámetro | Periodo de estudio | | | | | | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | abr/17-mar/18 | | | | abr/18-may/19 | | | | |
| | bf | fl | fi | fm | bf | fl | fi | fm | |
| Observaciones | 88 | 60 | 101 | 35 | 33 | 30 | 87 | 50 | |
| Ángulo medio (ā) en ° | Ac | 294.82° | 338.86° | Δ 43.47° | 118.60° | 282.43° | 324.25° | Δ 81.38° | 105.32° |
| | In | 281.48° | 337.53° | 42.35° | 116.37° | 282.75° | 313.35° | 80.58° | 107.31° |
| Fecha media | Ac | 26/oct | 10/dic | 14/feb | 1/may | 14/oct | 25/nov | 24/mar | 17/abr |
| | In | 13/oct | 9/dic | 12/feb | 28/abr | 14/oct | 14/nov | 23/mar | 19/abr |
| Desviación estándar circular | Ac | 55.95° | 48.45° | 57.59° | 38.56° | 57.00° | 61.01° | 55.08° | 44.58° |
| | In | 54.42° | 45.20° | 52.78° | 36.97° | 47.10° | 49.27° | 52.29° | 45.24° |
| Intervalos de confianza 95 % | Ac | 291.02° 298.63° | 334.98° 342.73° | 39.78° 47.15° | 114.60° 122.60° | 276.07° 288.79° | 316.93° 331.57° | 77.63° 85.13° | 101.44° 109.19° |
| | In | 275.12° 287.83° | 330.58° 344.49° | 36.40° 48.31° | 108.97° 123.77° | 274.28° 291.22° | 304.73° 321.97° | 75.08° 86.07° | 100.28° 114.33° |
| Longitud del vector medio (r) ^Ψ | Ac | .62 | .70 | .60 | .80 | .61 | .57 | .63 | .74 |
| | In | .64 | .73 | .65 | .81 | .71 | .69 | .66 | .73 |
| Duración principal fenofase (ā ± 1 SD) | Ac | 30/ago 22/dic | 22/oct 28/ene | 18/dic 13/abr | 23/mar 9/jun | 17/ago 11/dic | 24/sep 26/ene | 27/ene 19/may | 3/mar 1/jun |
| | In | 15/ago 2/dic | 23/oct 23/ene | 20/dic 6/abr | 22/mar 4/jun | 27/ago 30/nov | 25/sep 8/ene | 29/ene 15/may | 4/mar 4/jun |
| Índice de Actividad (sincronía) | | Alta | Alta | Alta | Alta | Baja | Alta | Alta | Baja |
| Índice de Fournier % | | 35.0 | 30.0 | 32.5 | 17.5 | 30.0 | 37.5 | 35.0 | 25.0 |

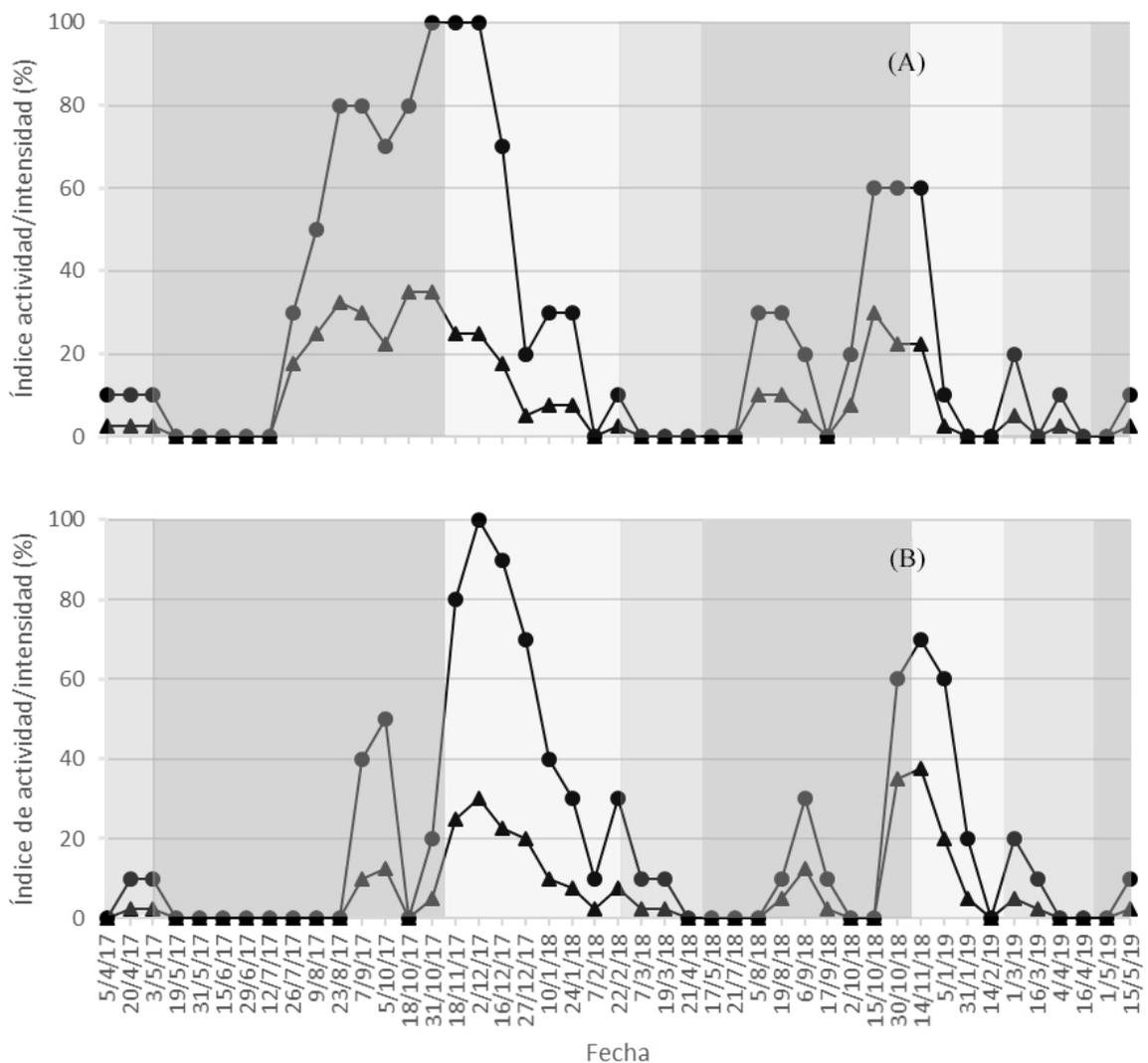
Nota. ^ΨZ de Rayleigh, $p < .001$ Δ F de Watson-Williams, $p < .05$

condiciones climáticas son semejantes a las encontradas en el área de estudio, Solórzano y colaboradores (2010) reportan para *Prunus brachybotrya* Zucc, y para *P. tetradenia* Koehne periodos variables en su floración y fructificación; para *P. tetradenia* tres meses de floración y cinco de fructificación, mientras que para *P. brachybotrya* un solo mes de floración y dos de fructificación. Por lo que fenofases de 2.5 a 3.5 meses de duración como las registradas en este estudio, se pueden considerar normales para especies del género *Prunus*.

Con relación al uso de *P. lundelliana* en programas de reforestación o restauración, es importante que la colecta de los frutos que se utilizarán para propagar sus semillas, se realice alrededor del pico de actividad-intensidad, es decir, entre el 15 de abril y el 15 de mayo. La colecta debe realizarse en varios individuos para garantizar que se mantenga la variabilidad genética de la población, lo cual puede asegurar el éxito a largo plazo de la restauración de un área determinada (Aavik & Helm, 2018).

Figura 3

Índices de actividad (●) e intensidad (▲) de las fenofases botones florales (A) y flores abiertas (B) de abril de 2017 a mayo de 2019 en Sibinal, San Marcos, Guatemala. Se marcan las temporadas seca (), transicional (), y lluviosa (■)



Al lado de la colecta de semillas, debe estar la creación y fortalecimiento de los viveros donde se propagaran las mismas, los viveros deben ser reconocidos como un componente integral de los objetivos de restauración de los bosques y una inversión prioritaria para asegurar que se alcancen esos objetivos (Haase & Davis, 2017). Para su establecimiento en las áreas a restaurar, hay que tomar en cuenta que *P. lundelliana* es

una especie de estados sucesionales intermedios, por lo que requiere una cubierta forestal para desarrollarse exitosamente (Del Castillo & Ríos, 2008).

La restauración ecológica busca devolver la composición, estructura y funcionalidad de los bosques originales a las áreas perturbadas (Elliott et al., 2013), por lo que no es extraño que cada día adquiera más interés, como lo demuestra la Iniciativa 20x20

Figura 4

Índices de actividad (●) e intensidad (▲) de las fenofases frutos verdes (A) y frutos maduros (B) de abril de 2017 a mayo de 2019 en Sibinal, San Marcos, Guatemala. Se marcan las temporadas seca (), transicional (), y lluviosa ()

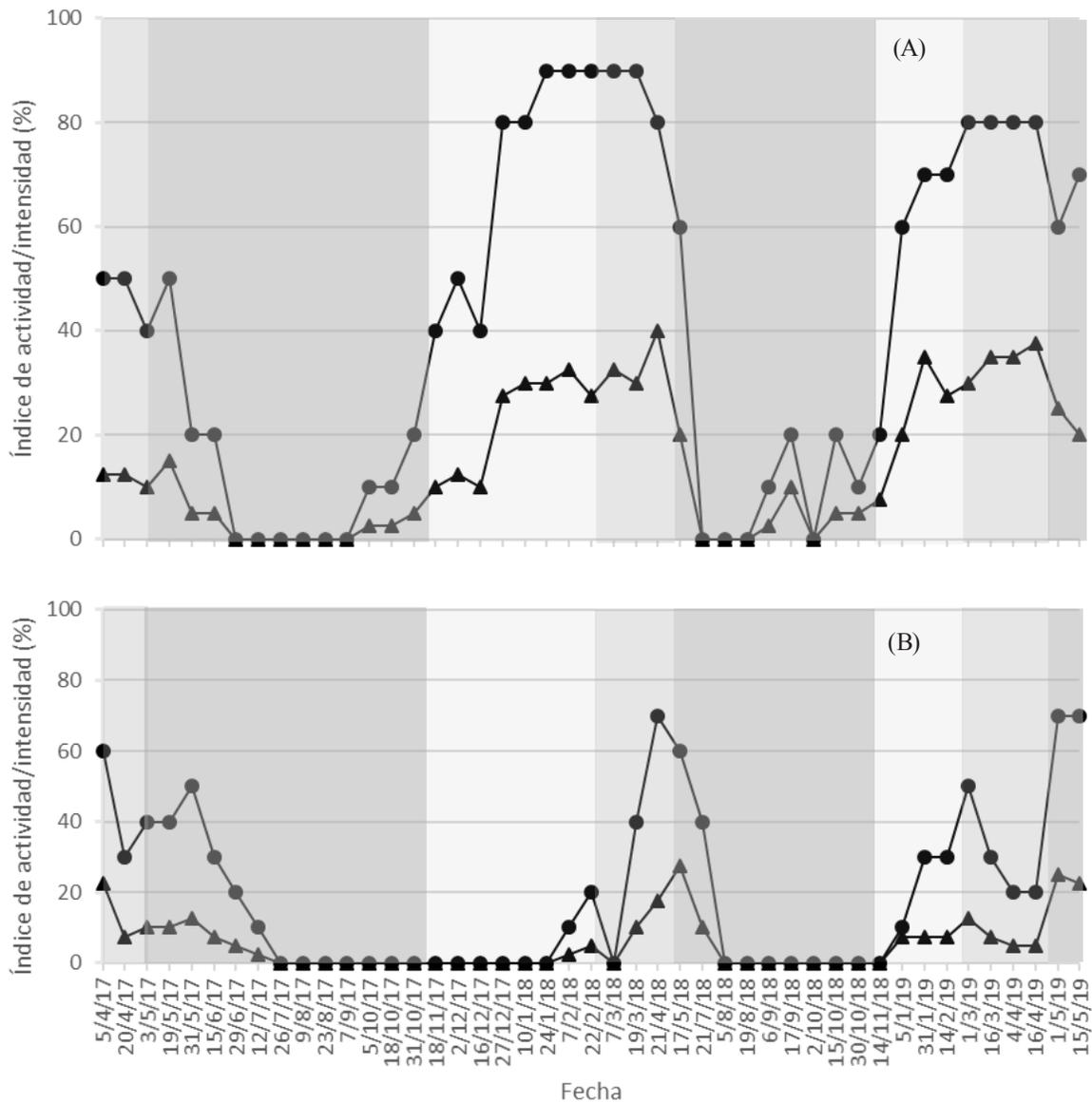


Tabla 2

Correlación de Spearman (r_s) entre los índices de actividad e intensidad de las fenofases reproductivas de *Prunus lundelliana* en los periodos abril de 2017 a marzo de 2018 y abril de 2018 a mayo de 2019 en el Volcán Tacaná, Sibinal, San Marcos

| Periodo | Fenofase | Correlación de Spearman (r_s)* |
|-------------------|------------------|------------------------------------|
| abril/17-marzo/18 | Botones florales | .974 |
| | Flores abiertas | .999 |
| | Floración | .982 |
| | Frutos inmaduros | .989 |
| | Frutos maduros | 1.000 |
| | Fructificación | .975 |
| | Botones florales | .998 |
| abril/18-mayo/19 | Flores abiertas | .993 |
| | Floración | .989 |
| | Frutos inmaduros | .967 |
| | Frutos maduros | .977 |
| | Fructificación | .883 |

Nota. * $p < .001$

(<https://initiative20x20.org/about>), que pretende restaurar 20 millones de hectáreas en América Latina y el Caribe. Guatemala es parte de esta iniciativa y dentro de su estrategia resalta la necesidad de restaurar sus bosque nubosos (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015). Por lo que contar con información fenológica podría mejorar la toma de decisiones y por ende mejorar la calidad de la restauración (Buisson et al., 2017). Además, en los estudios fenológicos debería involucrarse a los pobladores locales, tanto en la selección de las especies como en el monitoreo propiamente, tal como lo sugieren Sacande y Berrahmouni (2016), Luna-Nieves y colaboradores (2017), y Abernethy y colaboradores (2018), ya que ellos son los que directamente hacen uso de los recursos que estos bosques proveen.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado en su primer periodo por la Dirección General de Investigación de la Usac a través del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente, bajo la partida presupuestal (4.8.63.2.02-2017). El segundo periodo se realizó con el apoyo financiero del Fondo para la Conservación de Bosques Tropicales (FCA) al proyecto Conservación y Restauración de los bosques nubosos en las faldas del volcán Tacaná y zona de influencia, ejecutado por la Asociación de Desarrollo Agroforestal Integral Sostenible (Adafis).

Asimismo, se agradece el apoyo de la municipalidad de Sibinal, San Marcos, en especial a Elfidio Pérez, así como también al Cocode de la aldea Vega

del Volcán. Al herbario Aguat de la Facultad de Agronomía de la Usac, en especial a David Mendieta por la determinación taxonómica de los individuos monitoreados. Un agradecimiento especial a Florencio López, Rogelio Hernández, Román Bartolón y Otilio Bravo, por su apoyo en el trabajo de campo.

Referencias

- Aavik, T., & Helm, A. (2018). Restoration of plant species and genetic diversity depends on landscape-scale dispersal. *Restoration Ecology*, 26, S92-S102. <https://doi.org/10.1111/rec.12634>
- Abernethy, K., Bush, E. R., Forget, P. M., Mendoza, I., & Morellato, L. P. C. (2018). Current issues in tropical phenology: A synthesis. *Biotropica*, 50(3), 477-482. <https://doi.org/10.1111/btp.12558>
- Aide, T. M., Ruiz-Jaen, M. C., & Grau, H. R. (2010). What is the state of tropical montane cloud forest restoration? En L. A. Bruijnzeel, F. N. Scatena & L. S. Hamilton (Eds.), *Tropical montane cloud forests: Science for conservation and management* (pp. 101-110). Cambridge University Press.
- Bencke, C. S. C., & Morellato, L. P. C. (2002a). Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Revista Brasileira de Botânica*, 25(3), 269-275. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042002000300003>
- Bencke, C. S. C., & Morellato, L. P. C. (2002b). Estudio comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 25(2), 237-248. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042002000200012>
- Boulay, R., Carro, F., Soriguer, R. C., & Cerda, X. (2007). Synchrony between fruit maturation and effective dispersers' foraging activity increases seed protection against seed predators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1625), 2515-2522. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0594>
- Buisson, E., Alvarado, S. T., Le Stradic, S., & Morellato, L. P. C. (2017). Plant phenological research enhances ecological restoration. *Restoration Ecology*, 25(2), 164-171. <https://doi.org/10.1111/rec.12471>
- Camacho, M., & 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.
- Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., & Schwartz, M. D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(7), 357-365. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003>
- Del Castillo, R. F., & Ríos, M. A. P. (2008). Changes in seed rain during secondary succession in a tropical montane cloud forest region in Oaxaca, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 24(4), 433-444. <https://doi.org/10.1017/S0266467408005142>
- Demarée, G. R., & Rutishauser, T. (2011). From "Periodical Observations" to "Anthochronology" and "Phenology" - the scientific debate between Adolphe Quetelet and Charles Morren on the origin of the word "Phenology." *International Journal of Biometeorology*, 55(6), 753-761. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0442-5>
- Doi, H. (2007). Winter lowering phenology of Japanese apricot *Prunus mume* reflects climate change across Japan. *Climate Research*, 34(2), 99-104. <https://doi.org/10.3354/cr034099>
- Eisermann, K., & Schulz, U. (2005). Birds of a high-altitude cloud forest in Alta Verapaz, Guatemala. *Revista de Biología Tropical*, 53(3-4), 577-594. <https://doi.org/10.15517/rbt.v53i3-4.14672>
- Elliott, S., Blakesley, D., & Hardwick, K. (2013). *Restauración de bosques tropicales: Un manual práctico*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Fidalgo, A. D. O. (2019). Reproductive phenology of shrubs and trees in a Cerrado area of Mogi Guaçu, SP, Brazil. *Biotemas*, 32(3), 1-9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2019v32n3p1>
- Fournier, L. A. (1978). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Cespedesia*, 7, 25-26.
- Gall, F. (1983). *Diccionario geográfico de Guatemala*. Instituto Geográfico Nacional.
- Golicher, D. J., Cayuela, L., & Newton, A. C. (2012). Effects of climate change on the potential species richness of Mesoamerican forests. *Biotropica*, 44(3), 284-293. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00815.x>

- Guitian, J. (1993). Why *Prunus mahaleb* (Rosaceae) produces more flowers than fruits. *American Journal of Botany*, 80(11), 1305-1309. <https://doi.org/10.2307/2445715>
- Guitian, J. (1994). Selective fruit abortion in *Prunus mahaleb* (Rosaceae). *American Journal of Botany*, 81(12), 1555-1558. <https://doi.org/10.2307/2445332>
- Haase, D. L., & Davis, A. S. (2017). Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta*, 4, 69-93. <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.06.45>
- Heiling, J. M., & Gilbert, L. E. (2016). Cyanide two-step: Fruits lead and seeds follow in the chemical phenology of a subtropical cherry. *The Southwestern Naturalist*, 61(1), 57-60. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-61.1.57>
- Holder, C. D. (2006). The hydrological significance of cloud forests in the Sierra de las Minas Biosphere Reserve, Guatemala. *Geoforum*, 37(1), 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2004.06.008>
- Ibarra-Manríquez, G., Martínez-Morales, M., & Cornejo-Tenorio, G. (2015). *Frutos y semillas del bosque tropical perennifolio: región de Los Tuxtlas, Veracruz*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Inouye, D. W., & Wielgolaski, F. E. (2013). Phenology at high altitudes. En M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An integrative environmental science* (2nd ed., pp. 249-272). Springer Netherlands.
- Jardel, E. J., Cuevas, R., Santiago, A. L., & Rodríguez, J. M. (2014). Ecología y manejo de los bosques mesófilos de montaña en México. En M. Gual-Díaz & A. Rendón-Correa (Eds.), *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo* (pp. 141-188). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Jeanneret, F., & Rutishauser, T. (2010). Seasonality as a core business of phenology. En I. L. Hudson & M. R. Keatley (Eds.), *Phenological research: Methods for environmental and climate change analysis* (pp. 63-74). Springer Science.
- Kai, K., Kainuma, M., Murakoshi, N., & Omasa, K. (1993). Potential effects on the phenological observation of plants by global warming in Japan. *Journal of Agricultural Meteorology*, 48(5), 771-774. <https://doi.org/10.2480/agrmet.48.771>
- Kettle, C. J. (2012). Seeding ecological restoration of tropical forests: Priority setting under REDD+. *Biological Conservation*, 154, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.016>
- Koike, S., Kasai, S., Yamazaki, K., & Furubayashi, K. (2008). Fruit phenology of *Prunus jamasakura* and the feeding habit of the Asiatic black bear as a seed disperser. *Ecological Research*, 23(2), 385-392. <https://doi.org/10.1007/s11284-007-0399-3>
- Kovach, W. L. (2011). *Oriana – Circular Statistics for Windows* (Version 4.02). Kovach Computing Services.
- Lieth, H. (1974). *Phenology and seasonality modeling*. Springer-Verlag.
- López de Buen, L., & Ornelas, J. F. (2001). Seed dispersal of the mistletoe *Psittacanthus schiedeanus* by birds in Central Veracruz, Mexico. *Biotropica*, 33(3), 487-494. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00202.x>
- Luna-Nieves, A. L., Meave, J. A., Morellato, L. P. C., & Ibarra-Manríquez, G. (2017). Reproductive phenology of useful seasonally dry tropical forest trees: Guiding patterns for seed collection and plant propagation in nurseries. *Forest Ecology and Management*, 393, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.014>
- Matson, J. O., Ordóñez-Garza, N., Bulmer, W., & Eckerlin, R. P. (2012). Small mammal communities in the Sierra de Los Cuchumatanes, Huehuetenango, Guatemala. *Mastozoología Neotropical*, 19(1), 71-84.
- Mendoza, I., Peres, C. A., & Morellato, L. P. C. (2017). Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. *Global and Planetary Change*, 148, 227-241. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.001>
- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. (2015). *Estrategia de restauración del paisaje forestal: mecanismo para el desarrollo rural sostenible de Guatemala*. INAB/Programa Forestal Nacional.
- Montagnini, F. (2005). Selecting tree species for plantation. En S. Mansourian, D. Vallauri & N.

- Dudley (Eds.), *Forest restoration in landscapes: Beyond planting trees* (pp. 262-268). Springer.
- Morellato, L. P. C., Abernethy, K., & Mendoza, I. (2018). Rethinking tropical phenology: Insights from long-term monitoring and novel analytical methods. *Biotropica*, 50(3), 371-373. <https://doi.org/10.1111/btp.12562>
- Morellato, L. P. C., Alberti, L. F., & Hudson, I. L. (2010). Applications of circular statistics in plant phenology: a case studies approach. En I. L. Hudson & M. R. Keatley (Eds.), *Phenological research: Methods for environmental and climate change analysis* (pp. 339-359). Springer Science+Business Media.
- Morellato, L. P. C., Camargo, M. G. G., & Gressler, E. (2013). A review of plant phenology in South and Central America. En M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An integrative environmental science* (2nd ed., pp. 91-113). Springer Netherlands.
- Morellato, L. P. C., Camargo, M. G. G., Neves, F. F. D., Luize, B. G., Mantovani, A., & Hudson, I. (2010). The influence of sampling method, sample size, and frequency of observations on plant phenological patterns and interpretation in tropical forest trees. En I. L. Hudson & M. R. Keatley (Eds.), *Phenological Research. Methods for Environmental and Climate Change Analysis* (pp. 99-121). Springer Netherlands.
- Newton, A. C. (2011). Síntesis: Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal. En A. C. Newton & N. Tejedor (Eds.), *Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina* (pp. 377-409). Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas.
- Núñez-Cruz, A., Meave, J. A., & Bonfil, C. (2018). Reproductive phenology and seed germination in eight tree species from a seasonally dry tropical forest of Morelos, Mexico: Implications for community-oriented restoration and conservation. *Tropical Conservation Science*, 11, 1-14. <https://doi.org/10.1177/1940082917749946>
- Ochoa-Gaona, S., Pérez, I., & de Jong, B. H. J. (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 657-673.
- Parmesan, C. (2007). Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology*, 13, 1860-1872.
- Pérez-Zabala, J. A. (2014). Prunus. In G. M. Davidse, S. Sousa, S. Knapp, F. Chiang, & C. Ulloa (Eds.), *Flora Mesoamericana* (Vol. 2, Part. 3, pp. 37-87). Missouri Botanical Garden.
- Pires, J. P. de A., da Silva, A. G., & Freitas, L. (2014). Plant size, flowering synchrony and edge effects: What, how and where they affect the reproductive success of a Neotropical tree species. *Austral Ecology*, 39(3), 328-336. <https://doi.org/10.1111/aec.12082>
- Primack, R. B., Higuchi, H., & Miller-Rushing, A. J. (2009). The impact of climate change on cherry trees and other species in Japan. *Biological Conservation*, 142(9), 1943-1949. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.016>
- Ramírez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A., & González-Espinosa, M. (2003). *Guía para la propagación de especies leñosas nativas de los Altos y montañas del Norte de Chiapas*. El Colegio de la Frontera Sur.
- Ramírez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A., & González-Espinosa, M. (2008). Clasificación de grupos funcionales vegetales para la restauración del bosque mesófilo de montaña. En L. R. Sánchez-Velásquez, J. Galindo-González & F. Díaz (Eds.), *Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México* (pp. 51-72). Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, Universidad Veracruzana, Mundi Prensa México.
- Ramírez-Marcial, N., & González-Espinosa, M. (2011). *Prunus lundelliana* Standl. En M. González-Espinosa, J. A. Meave, F. G. Lorea-Hernández, G. Ibarra-Manríquez & A. C. Newton (Eds.), *The red list of Mexican cloud forest trees* (p. 74). Fauna & Flora International.
- Rivas, J. A. (2015). *Propuesta de monitoreo biológico en el volcán Tacaná y su zona de influencia en Guatemala*. HELVETAS-Guatemala.

- Rodríguez-Pérez, J., & Traveset, A. (2016). Effects of flowering phenology and synchrony on the reproductive success of a long-flowering shrub. *AoB PLANTS*, 8. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw007>
- Sacande, M., & Berrahmouni, N. (2016). Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel. *Restoration Ecology*, 24(4), 479-488. <https://doi.org/10.1111/rec.12337>
- Sakai, S., & Kitajima, K. (2019). Tropical phenology: Recent advances and perspectives. *Ecological Research*, 34(1), 50-54. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1131>
- Sánchez-Ramos, G., & Dirzo, R. (2014). El bosque mesófilo de montaña: un ecosistema prioritario amenazado. En M. Gual-Díaz & A. Rendón-Correa (Eds.), *Bosques mesófilos de montaña de México: Diversidad, ecología y manejo* (pp. 109-139). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Schuster, J. C., Cano, E. B., & Cardona, C. (2000). Un método sencillo para priorizar la conservación de los bosques nubosos de Guatemala, usando Passalidae (Coleoptera) como organismos indicadores. *Acta Zoologica Mexicana*, 80, 197-209.
- Schwartz, M. D. (2013). Introduction. En M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An integrative environmental science* (2nd ed., pp. 1-5). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Solórzano, S., Avila, L., Castillo, S., Meave, J. A., & Ibarra-Manríquez, G. (2010). Fenología de los árboles del bosque mesófilo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. en M. Á. Pérez-Farrera, C. Tejeda-Cruz, & E. Silva-Rivera (Eds.), *Los bosques mesófilos de montaña en Chiapas: situación actual, diversidad y conservación* (pp. 121-160). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Standley, P. C., & Steyermark, J. A. (1946). Rosaceae. En P. C. Standley & J. A. Steyermark (Eds.), *Flora of Guatemala* (Part 4, pp. 432-484). Fieldiana Botany.
- Sutherland, S., & Delph, L. F. (1984). On the importance of male fitness in plants: patterns of fruit-set. *Ecology*, 65(4), 1093-1104. <https://doi.org/10.2307/1938317>
- Taylor, F. G. (1974). Phenodynamics of production in a mesic deciduous forest. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and seasonality modeling* (pp. 237-254). New York: Springer-Verlag.
- Thompson, J. N., & Willson, M. F. (1979). Evolution of temperate fruit/bird interactions: Phenological strategies. *Evolution*, 33(3), 973-982. <https://doi.org/10.2307/2407660>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Volis, S. (2016). Conservation meets restoration—rescuing threatened plant species by restoring their environments and restoring environments using threatened plant species. *Israel Journal of Plant Sciences*, 63(4), 262-275. <https://doi.org/10.1080/07929978.2016.1255021>
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis* (4th ed.). Prentice-Hall.