



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN ECOLOGÍA

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

Efecto de la avifauna sobre la germinación de
madroño (*Arbutus xalapensis* Kunth, Ericaceae).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN ECOLOGÍA

P R E S E N T A:

Mateo Fernando Rosete Chávez

DIRECTOR DE TESIS: MTRO. JUAN MARTÍNEZ CRUZ

CO-DIRECTOR DE TESIS: MTRO. LUIS FERNANDO ALVARADO RAMOS

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

NOVIEMBRE, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



ESCUELA
NACIONAL
DE ESTUDIOS
SUPERIORES
UNIDAD MORELIA

10
años
(2011-2021)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

PRESENTE

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 08** del **Comité Académico de la Licenciatura en Ecología** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Unidad Morelia, celebrada el día **28 de agosto de 2023**, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional del alumno **Mateo Fernando Rosete Chávez** de la Licenciatura en **Ecología**, con número de cuenta **41912632-4**, con el trabajo titulado: "**Efecto de la avifauna sobre la germinación de madroño (*Arbutus xalapensis* Kunth, Ericaceae)**", bajo la dirección como tutor del **M. en C. Juan Martínez Cruz** y como co-tutor el **M. en C. Luis Fernando Alvarado Ramos**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente:	Dra. Ek del Val de Gortari
Vocal:	Dr. César Andrés Torres Miranda
Secretario:	M. en C. Juan Martínez Cruz
Suplente:	Dra. Lucero Sevillano García Mayeya
Suplente:	Dr. Jorge Cortés Flores

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Morelia, Michoacán a 15 de noviembre de 2023.


DRA. YUNUEN TAPIA TORRES
SECRETARIA GENERAL

CAMPUS MORELIA

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)689.3500 y (55)5623.7300, Extensión Red UNAM: 80614
www.enesmorelia.unam.mx

Agradecimientos institucionales

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia.

A la licenciatura en Ecología impartida en la ENES Morelia, UNAM.

Al ejido de Tzurumutaro, así como al jefe de tenencia y al comisariado ejidal en turno, por otorgar el permiso para realizar el presente trabajo en el ejido.

A la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por otorgar el permiso de colecta.

A mis tutores: el Mtro. Juan Martínez Cruz y el Mtro. Luis Fernando Alvarado Ramos, por todo su apoyo, dirección y risas en todo momento.

A mis sinodales: la Dra. Ek del Val de Gortari, la Dra. Lucero Sevillano García Mayeya, el Dr. César Andrés Torres Miranda, el Dr. Jorge Cortés Flores y el Mtro. Juan Martínez Cruz, por sus aportes que contribuyeron en la mejora de esta tesis.

A los siguientes laboratorios por su préstamo de instalaciones, equipo o material:

- Laboratorio del Ecojardín, IIES. En especial a la Mtra. Nidia Pérez Nasser y al Mtro. Juan Martínez Cruz, por su apoyo durante la estancia experimental.
- Laboratorio de Química, ENES-Morelia. En especial al Mtro. Neftalí Razo Pérez.
- Unidad de Planeación y Manejo del Territorio, ENES-Morelia.
- Colección Biológica de Ornitología, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

Al personal de Servicios Escolares de la ENES-Morelia y a los coordinadores de la Licenciatura en Ecología en turno de 2023-1 a 2024-1, Dr. Carlos Antonio Anaya Merchant y Dr. Rafael Aguilar Romero, respectivamente.

Al Dr. César Andrés Torres Miranda, por su apoyo en los análisis estadísticos.

Agradecimientos personales

A mis padres: Agustina Chávez Ortiz y Fernando Antonio Rosete Verges. La persona en la que me he convertido es gracias a ustedes. Los amo.

A Juan Martínez y Fernando Alvarado, además de que juntos son una pachanga, les agradezco todo su apoyo. Es increíble y genial que pasamos más tiempo riendo que hablando, no pude tener mejores tutores que ustedes, gracias.

A las personas que forman parte importante de mi vida y que aprecio mucho: mi madrina Concepción Chávez Ortiz, abuelo Cruz Chávez Chávez, padrino Cruz Chávez Ortiz, madrina Estela Barriga, padrino Arturo Ortiz, madrina Angelica Chagolla, tío Fernando Díaz, tía Marta Rosete, tío pepe (José F. Barragán Riverón), José Cruz y Susana Chávez Barriga, Juan Pablo Chávez Medina, Ana Iris Castillejo Patricio, Uzziel Benjamín González Silva, Xareni M. Ortiz Gutiérrez, familia Ortiz-Gutiérrez, familia Chávez-Medina, y familia Alvarado-Mijangos. Los quiero mucho.

A Arturo Jonatan Torres Pérez Coeto, por su asesoría y apoyo durante el proceso de tramitar el permiso de colecta ante la SEMARNAT.

A Javier Ornelas Huerta y a mi mamá por sus ideas artísticas relacionadas con el presente trabajo.

A mis profesores de la Licenciatura en Ecología, por sus enseñanzas e innumerables palabras que formaron mi conocimiento en las ciencias biológicas.

A mis colegas de la Licenciatura en Ecología.

Índice

Agradecimientos institucionales.....	3
Agradecimientos personales.....	4
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas.....	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Pregunta de investigación.....	16
Hipótesis.....	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
Materiales y métodos.....	17
1. Área de estudio	17
2. Identificación y monitoreo de vegetación	20
3. Observación y registro de la avifauna	21
4. Colecta de frutos.....	21
5. Captura y cautiverio temporal de las aves	22
6. Experimento de germinación.....	23
7. Procesamiento de datos	24
Resultados.....	25
1. Monitoreo de vegetación	25
2. Observación y registro de la avifauna	26
3. Captura y cautiverio de las aves	28
4. Experimento de germinación.....	29

4.1 Muestras fecales	29
4.2 Viabilidad de las semillas	30
4.3 Germinación de semillas	31
Discusión	35
1. Monitoreo de vegetación	35
2. Observación y registro de avifauna	36
3. Captura y cautiverio de las aves	37
4. Experimento de germinación.....	38
4.1 Muestras fecales	38
4.2 Viabilidad de las semillas	39
4.3 Germinación de semillas	39
Conclusiones.....	43
Perspectivas	44
Referencias	45
Anexos	57
Anexo 1. Diagrama de jaulas.....	57
Anexo 2. Aves capturadas y en cautiverio.	57
Anexo 3. Relación entre datos morfométricos y el porcentaje optimo y de germinación.	59

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución de <i>Arbutus xalapensis</i> en América. Datos de la distribución tomados de GBIF (GBIF.org, 2023).	14
Figura 2. Características de <i>Arbutus xalapensis</i> . Árbol adulto de <i>A. xalapensis</i> (A), corteza de <i>A. xalapensis</i> (B), hojas de <i>A. xalapensis</i> (C), flores de <i>A. xalapensis</i> (D) y frutos de <i>A. xalapensis</i> en distintos estados de maduración (E).....	14
Figura 3. Localización del área de estudio. El área de estudio corresponde al “Cerro de los Lobos,” ubicado al noreste del municipio de Pátzcuaro, Michoacán.	18
Figura 4. Área de estudios. Dentro y en la cercanía del área de estudio se localizan los sitios de muestreo (triángulos rojos). El bioterio (cuadro azul) se ubica a una distancia de ~150m de la falda del Cerro de los Lobos.	19
Figura 5. Curvas de germinación. Curva de acumulación del número de semillas germinadas en función del tiempo para cada tratamiento.....	33
Figura 6. Germinación de semillas. Número de semillas germinadas diariamente durante los 30 días del experimento para cada tratamiento. Registrando picos de germinación entre los ocho y once días del experimento.....	34
Anexo 1. A) Diagrama exterior de las jaulas y B) diagrama interior de las jaulas, mostrando la ubicación de las perchas.	57
Anexo 2. Aves capturadas. <i>Turdus assimilis</i> (A), <i>Turdus migratorius</i> (B), <i>Sialia sialis</i> (C), <i>Ptilonotus cinereus</i> (D), <i>Piranga flava</i> (E), <i>Pheucticus melanocephalus</i> (F), <i>Piranga ludoviciana</i> (G), <i>Haemorhous mexicanus</i> (H), <i>Icterus bullockii</i> (I) y <i>Junco phaeonotus</i> (J). 58	
Anexo 3. Relación entre datos morfométricos y el porcentaje óptimo y de germinación. Relación de porcentajes con la longitud de las aves (A y B), relación de porcentajes con el alto del pico (C y D), relación de porcentajes con el ancho del pico (E y F), relación de porcentajes con la longitud total del culmen (G y H), relación de porcentajes con la longitud del culmen expuesto (I y J) y relación de porcentajes con la masa corporal de las aves (K y L).	60

Índice de Tablas

Tabla 1. Fenología de las flores y los frutos y sus diferentes estadios. La floración se divide en dos estados: Botón-floral a flor-corola apertura inicial (A), flor-corola abierta a flor-corola senescente (B). La fructificación se dividió en cinco estados fenológicos debido a la importancia en la coloración del fruto como una estrategia visual y atrayente para las aves: flor-corola senescente final a la aparición de fruto verde (C), fruto verde a fruto amarillo (D), fruto amarillo a fruto naranja (E), fruto naranja a fruto rojo (F) y fruto rojo a fruto ennegrecido senescente (G). El tiempo representa los días que tarda en cambiar de un estado fenológico a otro y los días totales representan el tiempo acumulado a cada estado fenológico.....	25
Tabla 2. Aves interactuantes con el madroño (<i>A. xalapensis</i>). Se enlistan las especies de aves que interactúan con las flores, los frutos y los invertebrados asociados al madroño. Flor = estado fenológico B (flor-corola abierta a flor-corola senescente), fruto inmaduro = estado fenológico D (fruto verde a fruto amarillo) y fruto maduro = estado fenológico F (fruto naranja a fruto rojo).	27
Tabla 3. Captura y cautiverio de avifauna. Se enlistan las especies de aves que se capturaron y su respectivo procedimiento al ser extraídas de las redes. Los números entre paréntesis a un lado de las especies capturadas representa el número de individuos que se mantuvieron en cautiverio temporal. Los símbolos ♀♂ representan el sexo de los individuos cautivos.	28
Tabla 4. Semillas extraídas de excretas. Las semillas recuperadas se clasificaron en tres estados: enteras, rotas (fragmentadas) y dañadas (agrietadas o golpeadas). Para cada especie se calculó el porcentaje óptimo de las semillas tomando los datos de las semillas enteras y el número total de semillas (sumatoria de los tres estados). Los datos se ordenan de forma descendente con respecto al número total de semillas recuperadas.	30
Tabla 5. Viabilidad de las semillas. Las semillas enteras de cada tratamiento se separaron por medio de flotación para obtener el número de semillas con embrión, sin embrión y calcular el porcentaje de viabilidad.	30
Tabla 6. Diferencias significativas entre tratamientos, prueba post-hoc Dunn-Bonferroni.	31
Tabla 7. Tiempo y porcentaje de germinación. Se muestran los días del tiempo medio de germinación (TMG) y el tiempo total de germinación (TTG) para cada tratamiento. El porcentaje de germinación representa las semillas germinadas en relación con el total de las semillas colocadas a germinar (n) por tratamiento.	32

Resumen

Las aves han desempeñado complejos y diversos roles ecológicos en la dinámica y función de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Por ejemplo, algunas especies son depredadoras, necrófagas, granívoras, frugívoras, omnívoras, polinizadoras y dispersoras de semillas. En México, los bosques templados son el tercer tipo de vegetación con mayor riqueza de aves. Además, los bosques mixtos constituyen el 14% de la cobertura forestal del país y albergan la más alta diversidad florística, la cual se ejemplifica con los tres géneros más dominantes en la vegetación arbórea: *Pinus*, *Quercus* y *Arbutus*. El género *Arbutus* cuenta con 13 especies y su mayor diversificación se presenta en México, donde se reportan siete especies, siendo *Arbutus xalapensis* la especie con mayor distribución en América, la cual es de importancia ecológica ya que proporciona alimento y refugio a la fauna asociada a los bosques templados, estabilizan los suelos, favoreciendo la retención de agua y tiene una gran capacidad de regeneración. También, tiene importancia económica ya que es una especie maderable. Sin embargo, sus poblaciones se ven amenazadas por la sobreexplotación, la pérdida y degradación del hábitat. Además, se desconoce la información acerca de su propagación natural y la importancia que juegan las aves en dicho proceso.

El objetivo de este estudio fue describir las interacciones entre las aves y el madroño (*A. xalapensis*), y su efecto en la germinación de semillas. Para esto, se realizó una descripción y un monitoreo del inicio hasta la senescencia de la fenología floral y frutal del madroño, y registrando las interacciones con la avifauna. Asimismo, se realizó una captura dirigida de las especies de aves que se alimentan de los frutos de madroño, las cuales se sometieron a un cautiverio temporal con la finalidad de ser alimentadas y coleccionar sus respectivas excretas para recuperar las semillas de madroño. Las semillas recuperadas pasaron por una serie de pruebas en laboratorio para formar parte de un experimento de germinación por tratamientos (semillas extraídas del árbol y semillas de muestras fecales), el cual permitió evaluar el efecto de las aves en la germinación de semillas. Al explorar los resultados obtenidos, demostramos que las aves tienen efecto positivo y negativo en la germinación de semillas de *A. xalapensis*.

Abstract

Birds have played complex and diverse ecological roles in the dynamics and function of terrestrial and aquatic ecosystems. For example, some species are predators, necrophagous, granivores, frugivores, omnivores, pollinators and seed dispersers. In Mexico, temperate forests are the third type of vegetation with the greatest richness of birds. Furthermore, mixed forests constitute 14% of the country's forest cover and host the highest floristic diversity, which is exemplified by the three most dominant genera in tree vegetation: *Pinus*, *Quercus* and *Arbutus*. The *Arbutus* genus has 13 species and its greatest diversification occurs in Mexico, where seven species are reported, *Arbutus xalapensis* being the species with the greatest distribution in America, which is of ecological importance since it provides food and shelter to the fauna associated with Temperate forests stabilize soils, promoting water retention and have a great capacity for regeneration. Also, it has economic importance since it is a timber species. However, their populations are threatened by overexploitation, habitat loss and degradation. Furthermore, information about its natural spread and the importance that birds play in this process is unknown.

The objective of this study was to describe the interactions between birds and the strawberry tree (*A. xalapensis*), and its effect on seed germination. For this, a description and monitoring of the beginning until senescence of the floral and fruit phenology of the strawberry tree was carried out, and the interactions with the avifauna were recorded. Likewise, a targeted capture was carried out of the bird species that feed on strawberry tree fruits, which were subjected to temporary captivity in order to be fed and collect their respective excreta to recover the strawberry tree seeds. The recovered seeds went through a series of laboratory tests to form part of a treatment germination experiment (seeds extracted from the tree and seeds from fecal samples), which made it possible to evaluate the effect of birds on seed germination. By exploring the results obtained, we demonstrate that birds have a positive and negative effect on the germination of *A. xalapensis* seeds.

Introducción

De acuerdo con el listado de Clements, en el mundo existen 10,906 especies de aves (Clements et al., 2022). En México habitan 1,119 especies de aves que representan el 10.2% del total mundial, de las cuales, 109 especies son endémicas (Berlanga et al., 2019). Debido a su gran diversidad morfológica, estructural, funcional, conductual, entre otras, han desempeñado complejos y diversos roles ecológicos en la dinámica y funcionalidad de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Por ejemplo, algunas especies son depredadoras, otras son necrófagas, granívoras, frugívoras y omnívoras (Bruns, 1960; Clout & Hay, 1989; García-Moreno et al., 2007; Rangel-Salazar et al., 2013; Schupp, 1993; Tabur & Ayvaz, 2010; Wheelwright, 1988). Incluso, algunas aves son dispersoras de propágulos, como es el caso de los colibríes polinizan al menos 1,000 especies de plantas (Arizmendi & Berlanga, 2014).

En México, los bosques templados son el tercer tipo de vegetación con mayor riqueza en especies de aves (19.5%), detrás de la selva baja caducifolia (24%) y la selva alta perennifolia (29%) (Navarro- Sigüenza et al., 2014). Los bosques templados constituyen el 20% de la cobertura forestal del territorio mexicano, de los cuales el 14% es ocupado por bosques de pino y bosque mixto (pino-encino), 5% por bosques de encinos, y 1% por otras coníferas como *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus* o *Picea* (Galicía et al., 2018; Rzedowski, 1991). Los bosques mixtos son la cobertura vegetal que alberga la más alta diversidad florística en México, la cual se ejemplifica con los tres géneros más dominantes en la vegetación forestal: *Pinus*, *Quercus* y *Arbutus* (González-Elizondo et al., 2012b; Nixon, 1993). Estos bosques son comunidades con un estrato bajo escaso conformado por herbáceas, plantas trepadoras y helechos, en los troncos se pueden encontrar epífitas y en los sitios como claros o ecotonos se desarrollan manchones de matorrales compuestos por arbustos y herbáceas, principalmente (Rzedowski, 1986).

El género *Arbutus* (madroño) cuenta con 13 especies (Hileman et al., 2001; González-Elizondo et al., 2012a, 2012c) y su distribución se registra desde el oeste de Europa hasta la región del Mediterráneo, norte de África y partes del Medio Oriente; así como desde la costa oeste de Norteamérica hasta México y Centro América, también hay algunas especies en Nueva Zelanda y sureste de Australia (Hileman et al., 2001; Rzedowski & Rzedowski, 2010; Williams & Karl, 1996). Este taxa suele crecer en comunidades arbustivas y en bosques

asociados a especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*, principalmente (Martins et al., 2022). Sus poblaciones se desarrollan en diferentes tipos de suelos y como muchas especies de la Familia Ericaceae, tiene cierta preferencia por los suelos ácidos (Molina et al., 2011). Los frutos del género *Arbutus* son bayas globosas y ricos en carbohidratos, antioxidantes, vitamina C y E, niacina, carotenoides, polifenoles, por lo que se han empleado tradicionalmente para el consumo humano en la Península Ibérica como en otras regiones mediterráneas y se utilizan para producción de bebidas alcohólicas por fermentación o destilación (Alarcão-E-Silva et al., 2001; Molina et al., 2011). Respecto a su importancia ecológica, los madroños son especies clave de los ecosistemas mediterráneos, especialmente en tierras marginales con altas amplitudes térmicas y agua escasa principalmente en verano, donde otras especies tienen dificultades para prosperar. También, proporcionan alimento y refugio a la fauna asociada a los bosques templados y estabilizan los suelos, evitando la erosión y favoreciendo la retención de agua. Además, por su gran capacidad de regeneración tras incendios forestales son especies potenciales para programas de reforestación (Martins et al., 2022; Piotto et al., 2001).

La diversificación de *Arbutus* ocurrió en México, donde se diversificaron siete especies de madroño (*Arbutus arizonica*, *A. bicolor*, *A. madrensis*, *A. mollis*, *A. occidentalis*, *A. tessellata* y *A. xalapensis*); y cabe destacar que seis especies son endémicas con varios taxa infraespecíficos como híbridos naturales (González-Elizondo et al., 2012b; González-Elizondo & González-Elizondo 2014). Su distribución se encuentra en los ecosistemas de bosque templado principalmente, matorral xerófilo y bosque mesófilo de montaña, en las regiones fisiográficas de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico Transmexicano, Sierra Madre del Sur, Cuenca del Balsas, Sierra Norte de Oaxaca, Sierra Madre de Chiapas y Depresión Central de Chiapas (González-Elizondo & González-Elizondo 2014; Rzedowski, 2006; Rzedowski & Rzedowski, 2010). Las especies del género *Arbutus* constituyen un importante componente forestal de los bosques templados y son consideradas como el tercer género más abundante en forma silvestre de la vegetación forestal en los bosques mixtos (González-Elizondo et al., 2012b).

Arbutus xalapensis, es la especie con mayor distribución en América, se encuentra desde Nuevo México y Texas, E.U.A., hasta Honduras y Nicaragua (Figura 1) (Rzedowski & Rzedowski, 2010). Es un árbol de 10-30m de altura, perennifolio, cuyo tronco y ramas poseen corteza rojiza, delgada, lisa y frecuentemente exfoliante en láminas papiráceas (Figura 2A y 2B) (González-Elizondo & González-Elizondo 2014). Hojas con nervaduras rojas en el haz y amarillentas en el envés con pubescencia, margen liso o irregularmente dentado (Figura 2C) (González-Villarreal, 1990). Las flores son hermafroditas, agrupadas en panículas, de forma urceolada, de 5 a 10 mm de largo por 5 a 10 mm de ancho, con la corola blanca, amarillenta o con tintes rojizos y tienen una gran concentración de néctar (Figura 2D) (Niembro et al., 2010). Los frutos son bayas globosas de 8.5 a 12.6 mm de diámetro por 7 a 8.6 mm de ancho, de color rojo-anaranjado en la madurez, con la superficie granulosa, se encuentran unidos a la infrutescencia por un pedúnculo corto, están divididos en cinco lóculos con cinco semillas cada uno y llevan los remanentes del cáliz y estilo (Figura 2E) (Reyes et al., 2021). Las semillas son fusiformes, de 1.8 a 2.5 mm de largo, con cubierta reticulada y amarillenta (Niembro et al., 2010). El madroño es una especie importante en la estructura de las comunidades templadas, donde se ha registrado una densidad de 21 a 72 árboles por hectárea y hasta 150 arbustos por hectárea, teniendo valores significativos de abundancia, dominancia y frecuencia (Dávila-Lara et al., 2019; Encina-Domínguez et al., 2009; Flores-Morales et al., 2022). Su importancia ecológica se asocia con su papel en la comunidad, proporcionando hábitat y alimento a la fauna silvestre (Niembro et al., 2010). Se encuentra asociado con al menos 20 micorrizas arbutoides (Díaz-Armendáriz, 2018). El néctar se compone de 15% de glucosa, 17% de fructosa y 68% de sacarosa, composición dirigida a insectos de lengua larga (Lepidópteros, Himenópteros y Dípteros) y a colibríes (Freeman et al., 1985). Los frutos son comestibles y en algunos lugares se venden en los mercados como alimento para aves canoras y de ornato, ya que contienen proteínas, carbohidratos, lípidos, fibra, antioxidantes y también aporta minerales como Fe, Cu, Zn, Mg y Ca (Laferriere et al., 1991). Asimismo, la corteza, las hojas y los frutos son utilizados en la medicina tradicional o para curtir pieles en el caso de la corteza (Niembro et al., 2010; Reyes et al., 2021). Su importancia maderable se debe a su dureza, densidad y duramen rojizo para fabricar artículos torneados y artesanales (Guridi, 1981; Pérez, 1993). En el medio rural, su madera se utiliza como leña, carbón y para mangos de herramientas (Niembro et al., 2010).

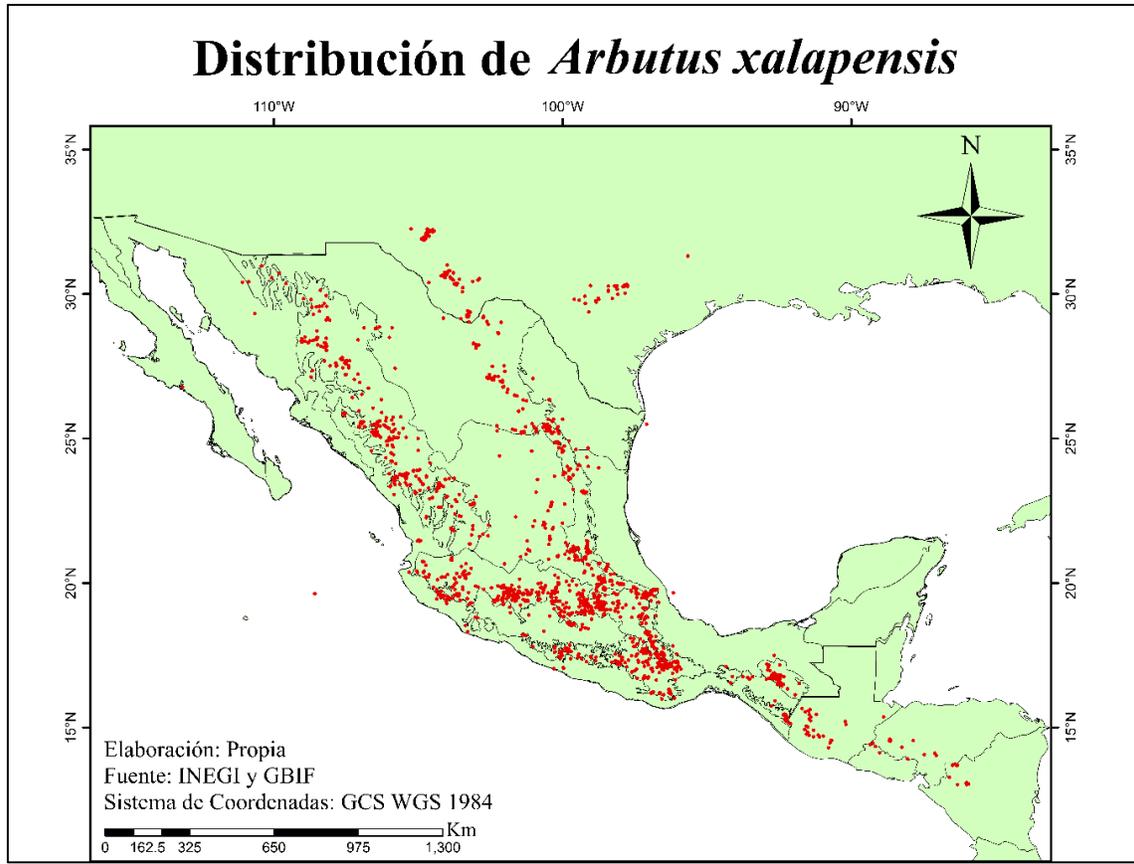


Figura 1. Distribución de *Arbutus xalapensis* en América. Datos de la distribución tomados de GBIF (GBIF.org, 2023).

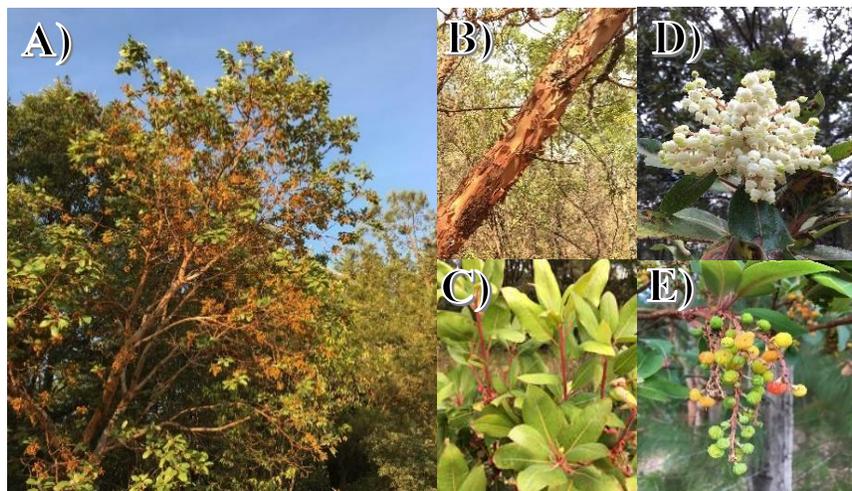


Figura 2. Características de *Arbutus xalapensis*. Árbol adulto de *A. xalapensis* (A), corteza de *A. xalapensis* (B), hojas de *A. xalapensis* (C), flores de *A. xalapensis* (D) y frutos de *A. xalapensis* en distintos estados de maduración (E).

Históricamente, los bosques templados presentan una tasa de deforestación anual promedio mayor a 0.5% y en algunas regiones la tasa de deforestación y de cambio de uso de suelo son aún mayores que en bosques tropicales perennifolios (Galicia et al., 2018). Por lo que, las poblaciones de *A. xalapensis* están amenazadas ya que normalmente presentan una distribución restringida y fragmentada, aunado a la sobreexplotación, el sobrepastoreo, la presencia de plagas forestales y la pérdida de hábitat; causas que aceleran el deterioro de las poblaciones (Tovar-Rocha et al., 2014). Por otro lado, a pesar de la problemática ambiental creciente y la importancia ecológica, económica y cultural de *A. xalapensis*, ha sido una especie poco estudiada con respecto a su propagación y establecimiento. Por ejemplo, se ha documentado que otras especies como *Arbutus unedo*, presentan latencia asociada con inhibidores derivados de la pulpa del fruto (Narbona et al., 2003). Asimismo, las plántulas que logran germinar no toleran el estrés por sequía durante el verano en sitios sin dosel, por lo que su establecimiento se restringe a zonas con densa vegetación (Mesléard & Lepart, 1991). En términos generales se desconocen los factores que determinan la germinación en el género *Arbutus* (Ricardo & Veloso, 1987) y son pocos los trabajos publicados que abordan este tema. Por ejemplo, en *A. unedo* se ha evaluado su germinación en condiciones a bajas temperaturas, choque térmico simulando el efecto del fuego, y la escarificación con ácido sulfúrico y ácido giberélico simulando el paso por el tracto digestivo de posibles dispersores, siendo la escarificación el procedimiento con mayor tasa de germinación (Bertsouklis & Papafotiou, 2013; Narbona et al., 2003; Pipinis et al., 2017; Tilki, 2004). En el caso de *A. xalapensis* Kunth solo existen estudios sobre calidad de la madera y el efecto de los factores ambientales en su adaptabilidad y evolución (Rodríguez & Morales, 2005). Recientemente, se publicó el único trabajo que determinó el efecto del estado de maduración frutal en la germinación *in vitro* de semillas y embriones cigóticos (Tovar-Rocha et al., 2014). Por lo tanto, la ecología de *A. xalapensis* ha sido poco estudiada, al igual que las interacciones con las comunidades de visitantes florales y de dispersores de semillas.

El objetivo del presente estudio fue describir y evaluar las interacciones ecológicas entre la especie *A. xalapensis* y la comunidad de aves frugívoras mediante observaciones en campo y un experimento de germinación. Se espera que este estudio permita conocer la interacción directa y específica entre las especies de aves con el madroño y su repercusión en la germinación de las semillas una vez que son ingeridas y excretadas por las aves.

Pregunta de investigación

¿Qué interacciones existen entre las aves que se alimentan de los frutos de madroño (*Arbutus xalapensis*) y cuál es su efecto sobre la germinación de semillas?

Hipótesis

Debido a la fisiología digestiva y hábitos alimenticios de las aves, se ha documentado que en el consumo de frutos existe un alto porcentaje de semillas destruidas mediante acción mecánica durante la ingesta y durante la digestión de las aves. Por lo que en la comunidad de aves que consumen frutos de madroño, existirán especies con efectos negativos y especies con un papel de dispersores en relación con la ingesta de los frutos y excreción de las semillas de *A. xalapensis*.

Objetivo general

Analizar y describir las interacciones entre aves y el madroño (*A. xalapensis*) durante el desarrollo de sus estructuras reproductivas hasta la germinación de semillas en el bosque templado del ejido de Tzurumutaro, y su efecto en la germinación de semillas.

Objetivos específicos

1. Describir la fenología de los frutos de la especie *A. xalapensis*.
2. Identificar las especies de aves que se alimentan de frutos de madroño (*A. xalapensis*).
3. Capturar y mantener en cautiverio temporal a las aves que se alimentan de los frutos de madroño para recuperar las semillas de *A. xalapensis*.
4. Diseñar un protocolo de germinación para las semillas de *A. xalapensis* obtenidas de los árboles y de las aves en cautiverio temporal.
5. Evaluar el efecto de la avifauna sobre la germinación de semillas de madroño.

Materiales y métodos

1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en “El Cerro de los Lobos”, el cual se encuentra mayormente en el ejido de Tzurumutaro, perteneciente al municipio de Pátzcuaro, Michoacán (Figura 3 y 4). Su elevación va de los 2,100 a los 2,700 m.s.n.m. y su vegetación es principalmente bosque templado mixto de encino-pino, además de pastizales y áreas de cultivos (Ramírez-Sánchez et al., 2019).

La zona es de origen volcánico, con rocas predominantemente basálticas y andesíticas; pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Volcánico Transmexicano, por lo que geológicamente se compone de rocas volcánicas del Cenozoico, sedimentos lacustres del Cuaternario y debido a su origen geológico, el Cerro de los Lobos es una colina volcánica levemente a fuertemente disectada, formada por basalto y brechas volcánicas, por lo que cuenta con cuatro tipos de suelo: andosol, luvisol, ranker y phaeozem (Ramírez-Sánchez et al., 2019). En términos hidrológicos, se encuentra en la región Lerma-Santiago, HR 12, en la porción occidental de la cuenca cerrada del lago de Pátzcuaro, forma parte de una zona poco permeable drenada por arroyos intermitentes (Ramírez-Sánchez et al., 2019). De acuerdo con García (2004) el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), con una temperatura media anual de 16°C, la precipitación anual oscila entre 1,000 y 1,200mm (Ramírez-Sánchez et al., 2019).

Las actividades de campo realizadas en el Cerro de los Lobos iniciaron en noviembre de 2021 y concluyeron en julio de 2022.

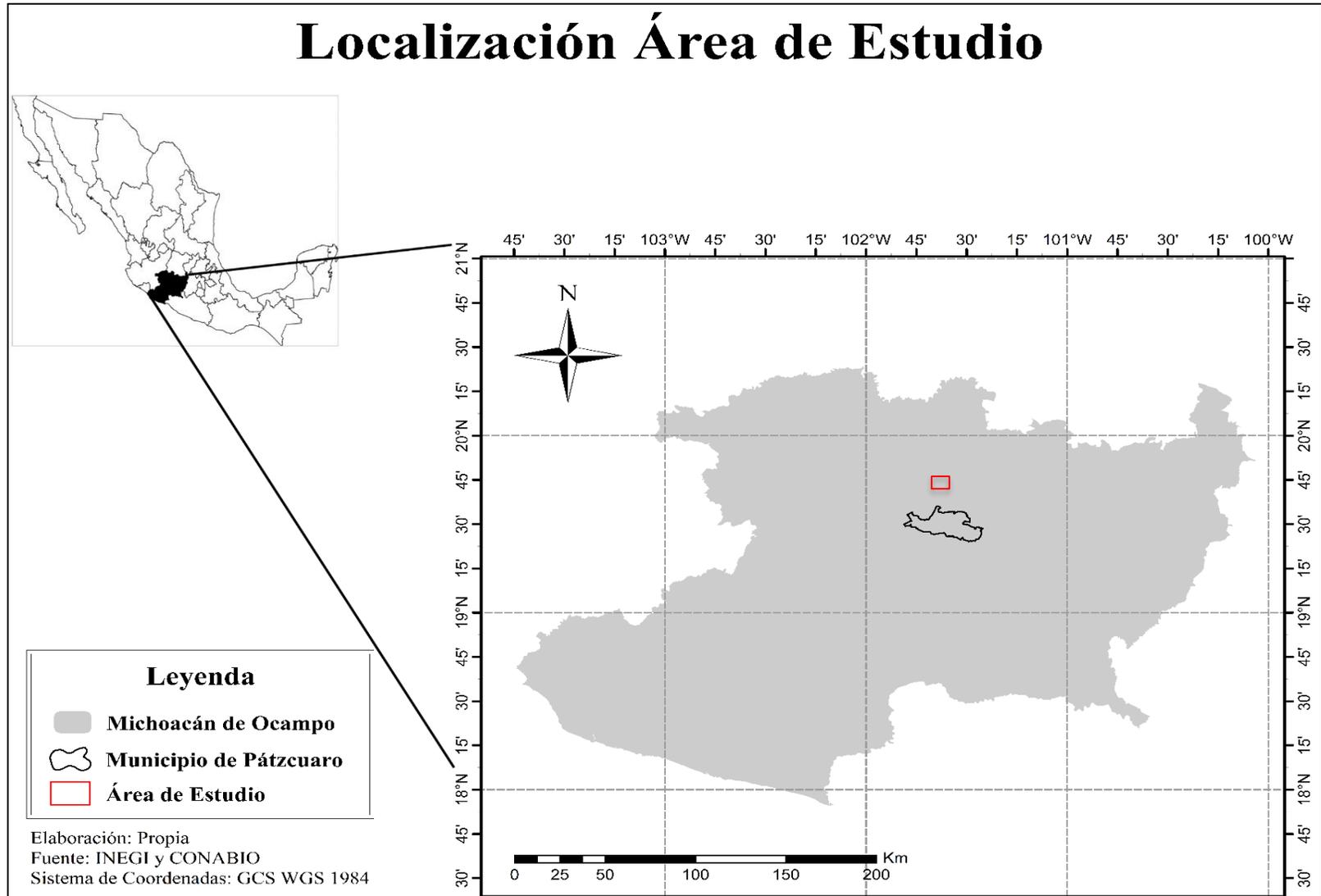


Figura 3. Localización del área de estudio. El área de estudio corresponde al “Cerro de los Lobos,” ubicado al noreste del municipio de Pátzcuaro, Michoacán.

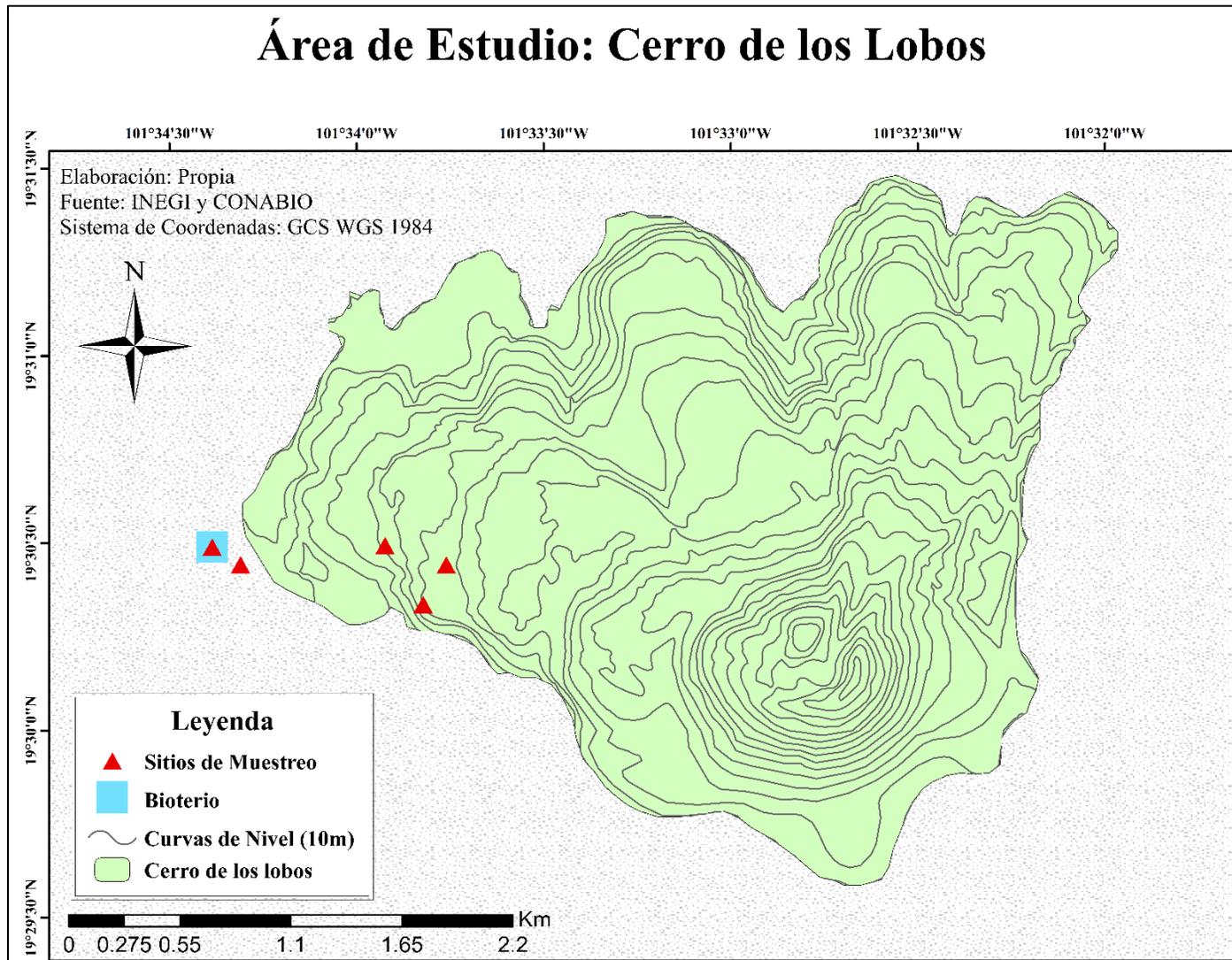


Figura 4. Área de estudios. Dentro y en la cercanía del área de estudio se localizan los sitios de muestreo (triángulos rojos). El bioterio (cuadro azul) se ubica a una distancia de ~150m de la falda del Cerro de los Lobos.

2. Identificación y monitoreo de vegetación

Se seleccionaron cinco sitios de muestreo que fueron elegidos mediante recorridos de prospección al área de estudio. Los criterios de selección fueron los siguientes: que cada sitio tuviera por lo menos 10 individuos de *A. xalapensis* con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10 cm y estar dentro de un radio de 40 m aproximadamente. Además, la distancia mínima entre sitios debería ser superior a 100 m.

Se colectaron todos los individuos de *A. xalapensis* presentes en los sitios de muestreo para realizar la correcta identificación taxonómica de la especie. Se tomó una muestra de cada uno de los 45 árboles ubicados en los cinco sitios, las cuales se prensaron, secaron y se colocaron en una congeladora a -17 °C durante 10 días para eliminar a los posibles organismos presentes en dichas muestras. Posteriormente, la identificación se realizó siguiendo las claves dicotómicas de las ericáceas de Jalisco, México (González-Villarreal, 1990), y se utilizó el Glosario botánico ilustrado de Moreno (1984). Por último, la observación de los caracteres morfológicos de la especie se realizó con un microscopio estereoscópico Fisher Scientific Stereomaster.

Dentro de cada uno de los sitios de muestreo se eligió un individuo de *A. xalapensis* (N=5) para registrar su fenología floral y frutal mediante fotografías diarias durante 207 días (del 20 de diciembre de 2021 al 15 de julio de 2022). Para lo cual se utilizó una clasificación de los distintos estados fenológicos de la floración y fructificación, donde se consideraron caracteres morfológicos asociados con el inicio, desarrollo y senescencia de las flores y los frutos (Tovar-Rocha et al., 2014). La floración se dividió en dos estados fenológicos: botón-floral a flor-corola apertura inicial (A), y flor-corola abierta a flor-corola senescente (B). La fructificación se dividió en cinco estados fenológicos debido a la importancia en la coloración del fruto como una estrategia visual y atrayente para las aves (Schaefer et al., 2006; Willson et al., 1990; Willson & Whelan, 1990), flor-corola senescente final a la aparición de fruto verde (C), fruto verde a fruto amarillo (D), fruto amarillo a fruto naranja (E), fruto naranja a fruto rojo (F), y fruto rojo a fruto ennegrecido senescente (G). Los individuos de *A. xalapensis* fueron monitoreados mediante fotografías diarias, durante el tiempo en que se desarrollaron las actividades de campo.

3. Observación y registro de la avifauna

Para llevar a cabo el registro de la avifauna interactuante con el madroño, se realizaron observaciones directas, las estaciones para la observación y registro de las interacciones se localizaron en la parte central de los cinco sitios de muestreo seleccionados. Con base en las estaciones asignadas se tomaron las agrupaciones de *A. xalapensis* como el centro del perímetro (Medina, 2018). La distancia entre estaciones fue en intervalos de 75 a 150m, siguiendo la metodología para el establecimiento de estaciones propuesta por Ralph et al. (1996). La observación y registro de la avifauna se realizó diariamente entre enero (comienzo de la floración, estadio A) y junio (maduración frutal, estadio G) de 2022, en un periodo entre las 08:00hrs y las 13:00hrs (Huff et al., 2000; MacGregor-Fors et al., 2010; Ralph et al., 1996). La identificación de las especies de aves se realizó de forma visual mediante binoculares y guías de campo especializadas como: A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America (Howell & Webb, 1995), Birds of Mexico and Central America (Perlo, 2006), Colibríes de México y Norteamérica (Arizmendi & Berlanga, 2014), Field guide to the birds of Northamerica (Dunn & Alderfer, 2017) y The Sibley guide to birds (Sibley, 2014).

4. Colecta de frutos

Para los distintos tratamientos del experimento se colectaron alrededor de 900 frutos maduros (estadio F) y enteros de diferentes individuos de *A. xalapensis* y se guardaron a temperatura ambiente en bolsas de malla de plástico para conservarlos frescos. De acuerdo con Tovar-Rocha et al. (2014), el cambio de color en el fruto es la característica más notoria durante su maduración, y por ello se utilizó como criterio para definir cuando un fruto como maduro. En el caso de *A. xalapensis* la coloración naranja y rojo del fruto indica un estado de madurez. Las semillas que conformaron el tratamiento control se extrajeron directamente de los frutos, retirando la pulpa manualmente y la separación de las semillas de la pulpa se hizo mediante tamices y agua. (Charalambidou et al., 2003; Niembro et al., 2010; Pipinis et al., 2017; Reyes et al., 2021).

5. Captura y cautiverio temporal de las aves

La captura de las aves se realizó con redes de niebla durante 15 días (del 19 de mayo al 9 de junio de 2022), dedicando tres días por sitio. Las redes se ubicaron en las cercanías de los sitios de muestreo, con la finalidad de capturar las especies de aves interactuantes con *A. xalapensis*. Las redes se situaron lo más separadas posible con el fin de cubrir una mayor superficie. Con base en los criterios de Ralph et al. (1996) se estableció a una distancia máxima de 50 m, para que el traslado entre una y otra red no fuera superior a los 15 minutos sin presencia de capturas. La apertura de las redes fue a las 06:30 am, para que a las 07:00 am las seis redes estuvieran listas. Las redes se operaron durante 7 a 8 horas al día, con periodos de revisión cada 40 - 45 minutos sin rebasar un tiempo máximo de 1 h. Las redes se abrieron y se cerraron en el mismo orden que se colocaron. Las horas de captura fueron las mismas para cada sitio (Ralph et al., 1996). Las aves capturadas se extrajeron cuidadosamente de las redes y se colocaron en bolsas de tela de manta para facilitar su traslado al sitio donde se mantuvieron en cautiverio temporal.

Se consideraron los siguientes criterios para tener una muestra representativa de la comunidad de aves: La muestra mínima para considerar a una especie como un tratamiento, fue la captura de 2 individuos, la muestra máxima fue de seis individuos, y el tiempo máximo de cautiverio para cada individuo fue de dos días, determinado por el tiempo entre la ingesta y la excreción de alimento, el gran número de excretas colectadas durante dicho tiempo, así como para evitar el mayor estrés posible.

Las aves estuvieron en cautiverio dos días como máximo por individuo, donde se controló su dieta, que fue a base de frutos de madroño (estadio F). De acuerdo con Ortega et al. (2018) y Eiserer (1979), se construyeron jaulas individuales de 60 × 60 × 60 cm; las cuales se fabricaron con tubos de cpvc (D=1/2in) y malla de acero galvanizado de calibre 20 (malla de gallinero) (Anexo 1). Las jaulas fueron equipadas con dos perchas paralelas separadas por unos 20 cm, una de las cuales fue aproximadamente 10 cm más alta que la otra. Todas las jaulas se colocaron en un bioterio, el cual consistió en un cuarto prefabricado de madera y techo de lámina transparente de fibra de vidrio (para no tener alteraciones en el ciclo circadiano) y se ubicó lo más cercano al bosque de donde fueron capturadas las aves. Se procuraron condiciones óptimas de humedad e hidratación durante el tiempo que duró el

proceso de ingesta-excreción de semillas (Eiserer 1979, 1980; William, 1902; Willson, 1994). Siguiendo a Ortega et al. (2018) el alimento (frutos de madroño) y el agua, se ofreció a las aves los dos días en dos períodos: uno matutino y uno vespertino, durante el último turno también se recogieron las excretas de las aves. Posteriormente, se procedió a enjuagar las excretas con agua en un tamiz de 0.01mm de luz, para recuperar las semillas (Charalambidou et al., 2003; Kleyheeg et al., 2018; Ortega et al., 2018). Posteriormente, las semillas se colocaron sobre papel de algodón y se dejaron secar durante dos horas para reducir o eliminar la humedad residual del tamizado. Una vez secas, las semillas se guardaron en bolsas de papel debidamente rotuladas con el nombre de la especie de procedencia.

6. Experimento de germinación

Los procedimientos de laboratorio se realizaron del 13 de junio al 27 de julio de 2022 en el laboratorio del ecojardín del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), UNAM. Las semillas obtenidas por ambos métodos (colecta directa del árbol y colecta de muestras fecales) se agruparon por su respectiva procedencia. Las semillas procedentes de la colecta directa conformaron un solo grupo, mientras que las semillas obtenidas de muestras fecales se separaron en grupos correspondientes a cada especie de ave de las cuales fueron recuperadas. Todas las semillas obtenidas por cada procedencia se sometieron a una serie de pruebas realizadas previamente al experimento de germinación.

En primera instancia, las semillas obtenidas de las excretas de aves se separaron en intactas, rotas y agrietadas por observación en un microscopio estereoscópico Fisher Scientific Stereomaster. Posteriormente, las semillas intactas se introdujeron en un recipiente con agua para separar por conteo las semillas flotantes (sin embrión) y las precipitadas (con embrión), procedimiento que se realizó para cada grupo de semillas. Las todas semillas con embrión fueron seleccionadas para el experimento de germinación (Narbona et al., 2003; Niembro et al., 2010; Reyes et al., 2021). Como primer paso, las semillas se desinfectaron mediante el remojo en una solución de hipoclorito de sodio al 2% durante 5min, después se colocaron en una solución de 250ml de agua/0.5gr de Captan® durante 20min y finalmente, se extendieron sobre papel de filtro en condiciones de laboratorio y se dejaron secar durante dos horas

(Charalambidou et al., 2003; Pérez et al., 2019; Pipinis et al., 2017; Rodríguez et al., 2020; Tort & Turkyilmaz, 2003). Posteriormente, las semillas se colocaron sobre dos capas de papel filtro Whatman® en cajas de Petri, cada caja con 50 semillas; las cuales se mantuvieron en una cámara de germinación Percival I-30VL a un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad, y temperatura promedio de 17.5 °C (min:16 °C y máx:19 °C), durante 37 días que duró el experimento (del 21 de junio al 27 de julio de 2022). Las semillas se mantuvieron hidratadas diariamente con agua destilada (Narbona et al., 2003; Pipinis et al., 2017; Robertson et al., 2006). Los tratamientos del experimento de germinación corresponden a: semillas control (obtenidas directamente de los árboles) y semillas recuperadas de las excretas de la avifauna, separadas para cada una de las siete especies de aves, teniendo un total de ocho tratamientos, sin replicas debido a la irregularidad de semillas recuperadas. Se consideró que una semilla germinó cuando la radícula emergió a través de la testa; lo cual se revisó con microscopio estereoscópico cada 24 horas a la misma hora. Por último, se consideró el fin de la germinación cuando germinaron todas las semillas de los tratamientos, o en su caso que transcurrieran 10 días sin registrar emergencia de radículas.

7. Procesamiento de datos

Previamente al experimento, se cuantificaron las semillas intactas, rotas y agrietadas que se recuperaron de las excretas, para calcular el porcentaje óptimo de semillas, el cual corresponde a las semillas intactas en relación con el total de las semillas recuperadas. El estado de las semillas se determinó por medio de observaciones con un microscopio estereoscópico. De la misma forma, se contaron las semillas con embrión y sin embrión de cada tratamiento para calcular el porcentaje de viabilidad (Charalambidou et al., 2003; Kleyheeg et al., 2018; Ortega et al., 2018). Una vez concluido el experimento, se calculó para cada tratamiento: el porcentaje de germinación (PG), el tiempo medio de germinación (TMG) y el tiempo total de germinación (TTG) (Pipinis et al., 2017). Posteriormente, para evaluar si existen o no diferencias significativas entre los datos de germinación del experimento, se ejecutó una prueba estadística de Kruskal-Wallis debido a la ausencia de normalidad en nuestros datos y una prueba *post-hoc* Dunn-Bonferroni. Las pruebas se realizaron utilizando el software de Rstudio, version 4.0.5 (R Core Team, 2021).

Resultados

1. Monitoreo de vegetación

De un total de 2,565 imágenes se obtuvo el tiempo promedio de cada estado floral y de maduración frutal, así como el tiempo acumulado tomando como inicio el desarrollo del botón floral hasta cada estado fenológico posterior (Tabla 1). Se registró que el tiempo de desarrollo transcurrido desde el botón floral hasta la senescencia de los frutos fue de 216 ± 10 días. Tiempo en el cual se registran diversas interacciones entre el madroño y la comunidad de aves.

Tabla 1. Fenología de las flores y los frutos y sus diferentes estadios. La floración se divide en dos estados: Botón-floral a flor-corola apertura inicial (A), flor-corola abierta a flor-corola senescente (B). La fructificación se dividió en cinco estados fenológicos debido a la importancia en la coloración del fruto como una estrategia visual y atrayente para las aves (Schaefer et al., 2006; Willson et al., 1990; Willson & Whelan, 1990): flor-corola senescente final a la aparición de fruto verde (C), fruto verde a fruto amarillo (D), fruto amarillo a fruto naranja (E), fruto naranja a fruto rojo (F) y fruto rojo a fruto ennegrecido senescente (G). El tiempo representa los días que tarda en cambiar de un estado fenológico a otro y los días totales representan el tiempo acumulado a cada estado fenológico.

Meses	Fenología						
	Floración		Fructificación				
	Enero-Febrero		Febrero-Junio		Junio-Julio		
Estado fenológico	A	B	C	D	E	F	G
Intervalos min-máx (días)	41-57	9-18	11-20	99-128	5-17	3-16	4-20
Días promedio	47.33	12.15	15.23	111.17	8.58	8.40	13.88
Desviación estándar	8.50	3.0	2.68	7.61	4.27	4.67	5.84
Días totales	47.33	59.49	74.72	185.88	194.47	202.87	216.74

2. Observación y registro de la avifauna

Mediante las observaciones realizadas se registraron 24 especies de aves que interactuaron con el madroño debido a sus hábitos alimenticios (Tabla 2). Durante la fenología floral, principalmente en el estado fenológico donde las flores tienen la corola completamente abierta, se registraron seis especies de aves que consumen las flores de madroño de forma completa y dos especies de colibríes que son visitantes florales. Durante la fenología de los frutos se registraron 16 especies de aves que consumen frutos de madroño, de las cuales cuatro especies comen frutos en estado inmaduro y frutos maduros, mientras que las 12 especies restantes únicamente comen frutos maduros. Cabe destacar que las seis especies de aves que consumen flores, también se alimentan de frutos maduros, por lo que dichas especies se encuentran presentes en las dos fenofases y constantemente visitan plantas de madroño para alimentarse a lo largo del día. Por otro lado, se registraron seis especies de aves que visitan plantas de madroño para alimentarse de los insectos que se encuentran en las hojas, ramas, frutos, corteza y de aquellos que son visitantes florales.

Las interacciones se registraron una vez que se tuvo la certeza de que dicha actividad fuese realizada constantemente y de forma cotidiana por parte de las aves, por lo que los datos registrados no son consecuencia de eventos extraños o anomalías.

Tabla 2. Aves interactuantes con el madroño (*A. xalapensis*). Se enlistan las especies de aves que interactúan con las flores, los frutos y los invertebrados asociados al madroño. Flor = estado fenológico B (flor-corola abierta a flor-corola senescente), fruto inmaduro = estado fenológico D (fruto verde a fruto amarillo) y fruto maduro = estado fenológico F (fruto naranja a fruto rojo).

Orden	Familia	Especie	Alimento registrado					Gremio	
			Flor estado B	Fruto Inmaduro estado D	Fruto Maduro estado F	Insectos	Visitantes florales (insectos)		Néctar (visitante floral)
Apodiformes	Trochilidae	<i>Basilinna leucotis</i>						x	Nectarívoro
		<i>Saucerottia beryllina</i>						x	Nectarívoro
Passeriformes	Aegithalidae	<i>Psaltriparus minimus</i>				x	x		Insectívoro
	Cardinalidae	<i>Pheucticus melanocephalus</i>			x				Granívoro
<i>Piranga flava</i>		x		x				Insectívoro	
<i>Piranga ludoviciana</i>				x				Insectívoro	
<i>Piranga rubra</i>		x		x				Insectívoro	
	Corvidae	<i>Cyanocitta stelleri</i>			x			Omnívoro	
	Emberizidae	<i>Junco phaeonotus</i>		x	x			Omnívoro	
	Fringillidae	<i>Haemorhous mexicanus</i>		x	x			Granívoro	
	Icteridae	<i>Icterus bullockii</i>	x		x				Omnívoro
		<i>Icterus cucullatus</i>	x		x				Omnívoro
	Parulidae	<i>Myioborus miniatus</i>				x			Insectívoro
		<i>Myioborus pictus</i>				x	x		Insectívoro
		<i>Oreothlypis superciliosa</i>				x			Insectívoro
	Ptilogonatidae	<i>Ptilogonys cinereus</i>		x	x				Insectívoro
	Turdidae	<i>Sialia mexicana</i>			x				Omnívoro
		<i>Sialia sialis</i>			x				Omnívoro
		<i>Turdus assimilis</i>	x		x				Omnívoro
		<i>Turdus migratorius</i>	x	x	x				Omnívoro
	Tyrannidae	<i>Empidonax occidentalis</i>				x	x		Insectívoro
		<i>Mitrephanes phaeocercus</i>				x			Insectívoro
		<i>Tyrannus melancholicus</i>			x				Insectívoro
		<i>Tyrannus vociferans</i>			x				Insectívoro

NOTA: Los gremios fueron tomados del trabajo Foraging Guilds of North American Birds (De Graaf et al., 1985).

3. Captura y cautiverio de las aves

Durante los 15 días (tres días por sitio) de muestreo se capturaron 122 individuos pertenecientes a 32 especies de aves; de las cuales 12 pertenecieron a las especies de interés que se alimentan de fruta de madroño, por lo que sus individuos se colocaron en bolsas de tela de manta para ser trasladados al sitio de cautiverio en el bioterio, mientras que los individuos de las 20 especies restantes fueron fotografiados y liberados inmediatamente (Tabla 3) (Anexo 2).

Tabla 3. Captura y cautiverio de avifauna. Se enlistan las especies de aves que se capturaron y su respectivo procedimiento al ser extraídas de las redes. Los números entre paréntesis a un lado de las especies capturadas representa el número de individuos que se mantuvieron en cautiverio temporal. Los símbolos ♀♂ representan el sexo de los individuos cautivos.

Orden	Familia	Especie	Cautiverio	Liberación
Apodiformes	Trochilidae	<i>Basilinna leucotis</i>		x
		<i>Saucerottia beryllina</i>		x
Columbiformes	Columbidae	<i>Columbina inca</i>		x
Passeriformes	Aegithalidae	<i>Psaltriparus minimus</i>		x
	Cardinalidae	<i>Pheucticus malanocephalus</i> (5)	x♀♂	
		<i>Piranga flava</i> (5)	x♀♂	
		<i>Piranga ludoviciana</i> (2)	x♀♂	
		<i>Piranga rubra</i> *		x
	Emberizidae	<i>Junco phaeonotus</i> (6)	x	
	Fringillidae	<i>Haemorhous mexicanus</i> (6)	x♀♂	
		<i>Spinus psaltria</i>		x
	Icteridae	<i>Icterus bullockii</i> (6)	x♀♂	
		<i>Molothrus aeneus</i>		x
	Parulidae	<i>Myioborus miniatus</i>		x
		<i>Myioborus pictus</i>		x
	Passerellidae	<i>Melospiza fusca</i>		x
		<i>Oriturus superciliosus</i>		x
<i>Pipilo erythrophthalmus</i>			x	
<i>Spizella passerina</i>			x	
Ptilonotidae	<i>Ptilonotus cinereus</i> (2)	x♂		
Sittidae	<i>Sitta carolinensis</i>		x	
Troglodytidae	<i>Tryomanes bewickii</i>		x	

Continuación de Tabla 3.

Orden	Familia	Especie	Cautiverio	Liberación
Passeriformes	Turdidae	<i>Catharus aurantirostris</i>		X
		<i>Catharus frantzii</i>		X
		<i>Sialia mexicana</i> *		X
		<i>Sialia sialis</i> (4)	X♀♂	
		<i>Turdus assimilis</i> (5)	X	
		<i>Turdus migratorius</i> (5)	X♀♂	
	Tyrannidae	<i>Empidonax occidentalis</i>		X
	Vireonidae	<i>Vireo bellii</i>		X
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes auratus</i>		X
		<i>Picoides scalaris</i>		X

* Se capturó un solo individuo de la especie el último día de muestreo, por lo que no cumplieron con la muestra mínima y se fotografiaron y liberaron

Nota: Todas las aves fueron extraídas cuidadosamente de la red.

4. Experimento de germinación

4.1 Muestras fecales

Se evaluó y cuantificó el estado de las semillas recuperadas de las excretas para las 10 especies de aves que se mantuvieron en cautiverio temporal, de esta forma se obtuvo el porcentaje óptimo de las semillas recuperadas de cada tratamiento (Tabla 4). De siete de las 10 especies de aves se recuperaron semillas de sus respectivas excretas. Por lo tanto, se obtuvieron siete tratamientos de muestras fecales (uno por especie) para el experimento de germinación, con un total de ocho tratamientos tomando en cuenta el grupo control. Por otro lado, las especies *Haemorrhous mexicanus*, *Icterus bullockii* y *Junco phaeonotus* degradaron las semillas en su totalidad mediante la digestión, por lo que no se pudo recuperar semillas de sus respectivas excretas.

Tabla 4. Semillas extraídas de excretas. Las semillas recuperadas se clasificaron en tres estados: enteras, rotas (fragmentadas) y dañadas (agrietadas o golpeadas). Para cada especie se calculó el porcentaje óptimo de las semillas tomando los datos de las semillas enteras y el número total de semillas (sumatoria de los tres estados). Los datos se ordenan de forma descendente con respecto al número total de semillas recuperadas.

Especie	Estado de Semillas			Total	% Óptimo
	Enteras	Rotas	Dañadas		
<i>Turdus assimilis</i>	626	96	30	752	83.24
<i>Turdus migratorius</i>	615	82	9	706	87.11
<i>Sialia sialis</i>	141	10	6	157	89.81
<i>Piranga flava</i>	114	12	3	129	88.37
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	80	9	22	111	72.07
<i>Ptilonys cinereus</i>	79	4	6	89	88.76
<i>Piranga ludoviciana</i>	43	12	8	63	68.25
<i>Haemorhous mexicanus</i>	~	~	~	~	~
<i>Icterus bullockii</i>	~	~	~	~	~
<i>Junco phaeonotus</i>	~	~	~	~	~

4.2 Viabilidad de las semillas

Todos los tratamientos mostraron tener un porcentaje de viabilidad mayor al 90%, indicando tener una tasa alta de semillas potencialmente viables a germinar (Tabla 5). Las semillas enteras y con embrión se seleccionaron para el experimento de germinación. En el caso de los tratamientos con más de 500 semillas, únicamente se tomaron 200 semilla para formar la muestra experimental, para los tratamientos restantes se tomaron todas las semillas con embrión para formar sus respectivas muestras experimentales.

Tabla 5. Viabilidad de las semillas. Las semillas enteras de cada tratamiento se separaron por medio de flotación para obtener el número de semillas con embrión, sin embrión y calcular el porcentaje de viabilidad.

Tratamiento	Enteras	Con embrión	Sin embrión	% de viabilidad
Control	1000	984	16	98.40
<i>T. assimilis</i>	626	601	25	96.01
<i>T. migratorius</i>	615	579	36	94.15
<i>S. sialis</i>	141	140	1	99.29
<i>P. flava</i>	114	112	2	98.25
<i>P. melanocephalus</i>	80	77	3	96.25
<i>P. cinereus</i>	79	79	0	100
<i>P. ludoviciana</i>	43	39	4	90.70

4.3 Germinación de semillas

Los diferentes tratamientos tuvieron un efecto significativo sobre el tiempo y la velocidad de germinación (Prueba Kruskal–Wallis, $H= 32.363$, G.L.= 7, $p= 0.00003$) y (Dunn–Bonferroni *post hoc*, $p < 0.05$) (Tabla 6). El tiempo que tardó en germinar la primera semilla en cada tratamiento fue entre siete y ocho días, a excepción de las semillas de *P. ludoviciana* donde las primeras semillas germinaron en el cuarto día. Entre los ocho y once días después de comenzar el experimento se registró el mayor número de semillas germinadas simultáneamente en los distintos tratamientos (Figura 5 y 6). El tiempo medio de germinación (TMG) para cuatro tratamientos fue de 10 días y para los cuatro tratamientos restantes fue de 11 días, mientras que el tiempo total de germinación (TTG) fue variable entre los tratamientos oscilando entre 17 y 29 días a partir de la siembra (Tabla 7). Los porcentajes de germinación fueron diferentes entre tratamientos; en tres de ellos (Control, *T. assimilis* y *T. migratorius*) germinó el 100% de las semillas, para dos tratamientos (*S. sialis* y *P. flava*) se tuvo un 97% de germinación, otros dos (*P. cinereus* y *P. ludoviciana*) tuvieron un 89% de germinación y finalmente el tratamiento de *P. melanocephalus* tuvo el 79% de germinación (Tabla 7).

Tabla 6. Diferencias significativas entre tratamientos, prueba *post-hoc* Dunn-Bonferroni.

Tratamientos	Valor de P	Valor de P ajustado a Dunn–Bonferroni
Control - <i>T. assimilis</i>	0.00008	0.00235 *
<i>T. assimilis</i> - <i>T. migratorius</i>	0.00049	0.00002 *
<i>P. cinereus</i> - <i>T. migratorius</i>	0.0000008	0.01295 *
Control - <i>P. cinereus</i>	0.00589	0.147
<i>P. flava</i> - <i>T. assimilis</i>	0.05035	1
<i>P. melanocephalus</i> - <i>T. assimilis</i>	0.0514	1
<i>S. sialis</i> - <i>T. assimilis</i>	0.02115	0.507
<i>S. sialis</i> - <i>T. migratorius</i>	0.0328	0.721
<i>P. flava</i> - <i>T. migratorius</i>	0.03023	0.695

*Valores significativos $p < 0.05$.

Tabla 7. Tiempo y porcentaje de germinación. Se muestran los días del tiempo medio de germinación (TMG) y el tiempo total de germinación (TTG) para cada tratamiento. El porcentaje de germinación representa las semillas germinadas en relación con el total de las semillas colocadas a germinar (n) por tratamiento.

Tratamiento	TMG (días)	TTG (días)	Semillas Colocadas (n)	Semillas Germinadas	% Germinación
Control	10	19	200	200	100
<i>T. assimilis</i>	11	23	200	200	100
<i>T. migratorius</i>	10	23	200	200	100
<i>S. sialis</i>	10	19	140	137	97.857
<i>P. flava</i>	10	29	112	109	97.321
<i>P. melanocephalus</i>	11	19	77	61	79.221
<i>P. cinereus</i>	11	17	79	71	89.873
<i>P. ludoviciana</i>	11	25	39	35	89.744

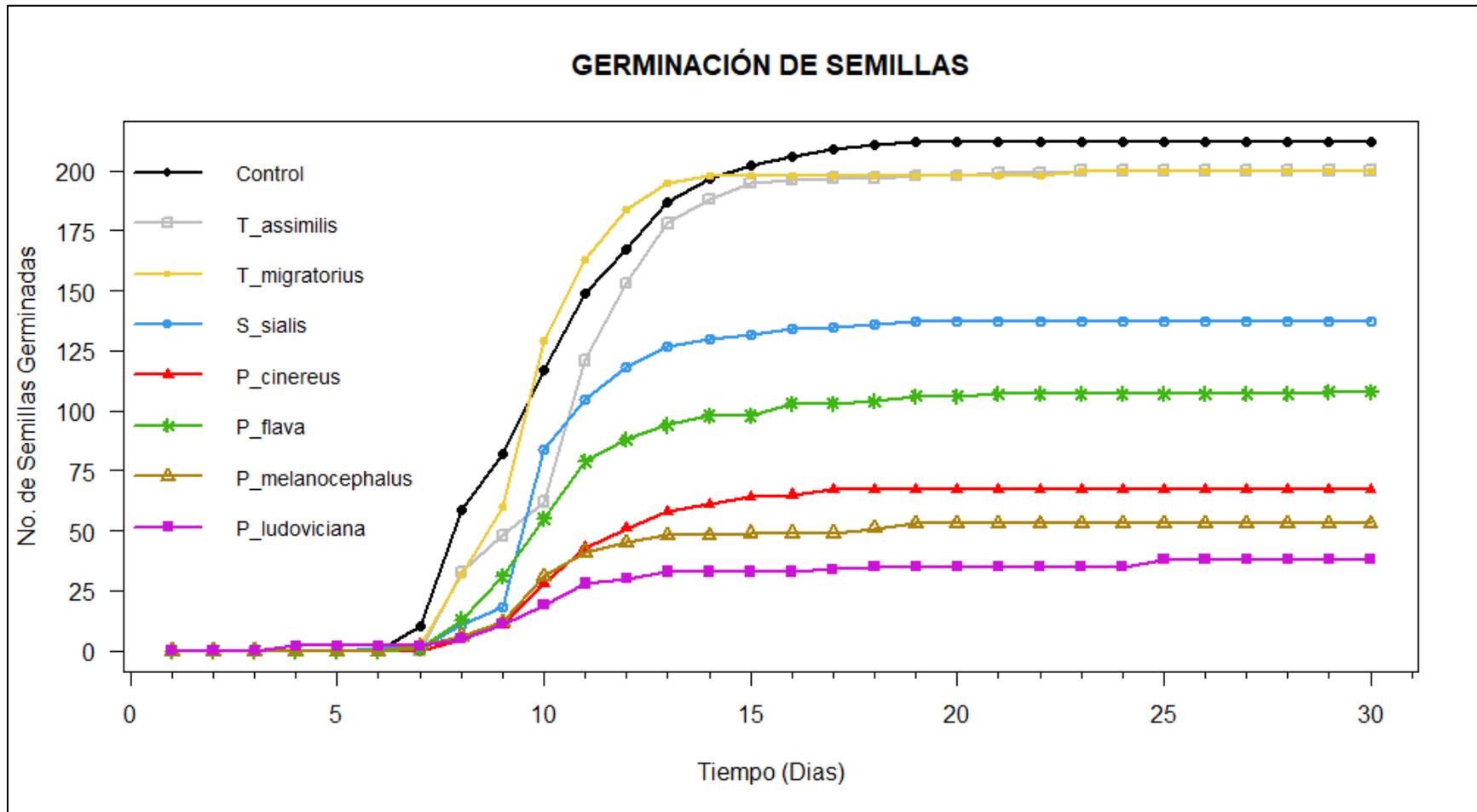


Figura 5. Curvas de germinación. Curva de acumulación del número de semillas germinadas en función del tiempo para cada tratamiento.

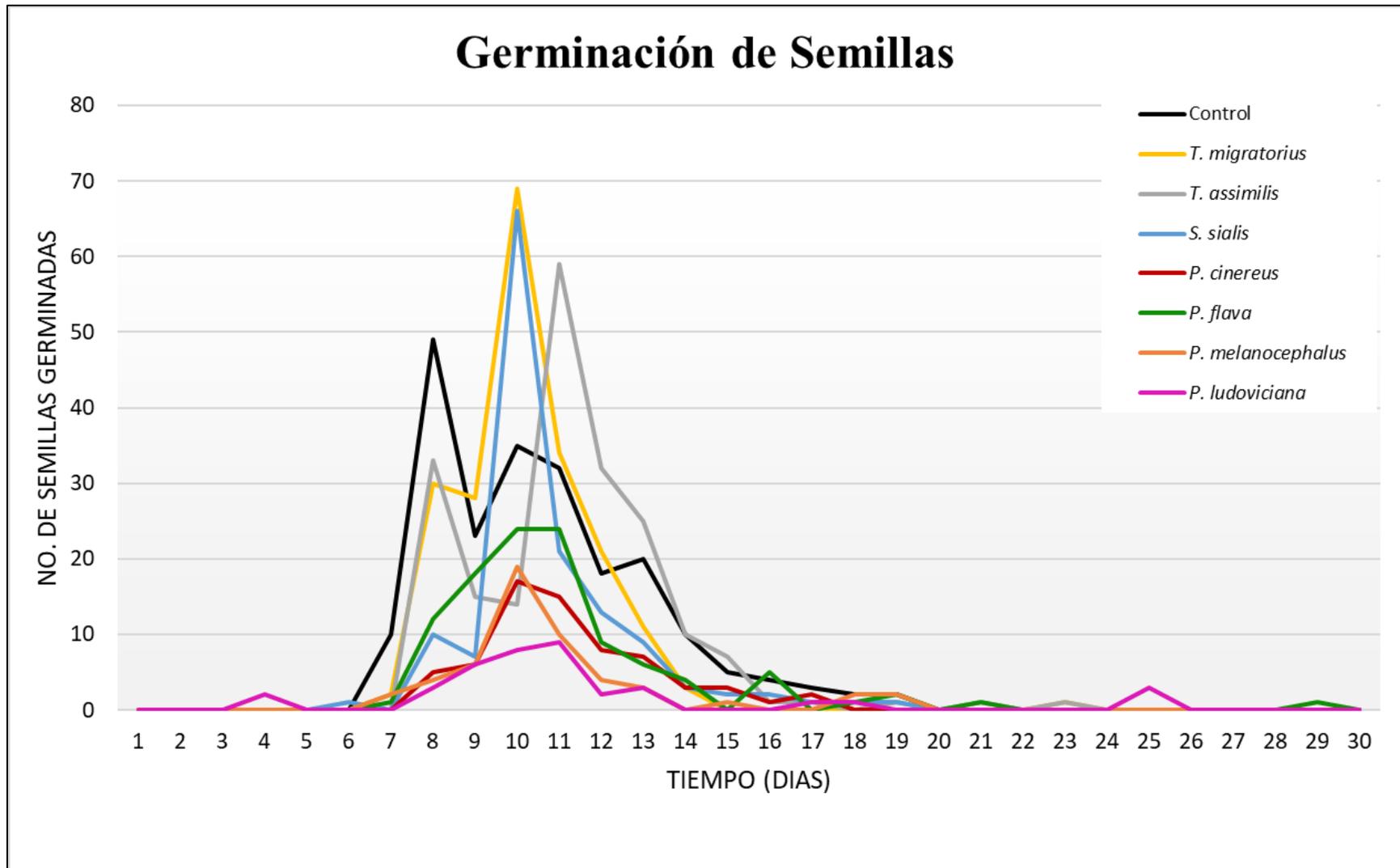


Figura 6. Germinación de semillas. Número de semillas germinadas diariamente durante los 30 días del experimento para cada tratamiento. Registrando picos de germinación entre los ocho y once días del experimento.

Discusión

1. Monitoreo de vegetación

Los resultados documentan los cambios temporales de la floración (enero - febrero) y de los frutos maduros (junio - julio) desde su inicio hasta su final para *A. xalapensis* en la región de Pátzcuaro, Michoacán. Sin embargo, ambas fenologías se presentan en distintas épocas del año según la ubicación de *A. xalapensis*. En comparación con otros trabajos, la floración ocurre en Chiapas de enero a marzo (Ramírez-Marcial et al., 2003), en la Ciudad de México de enero a marzo (Montoya-Pérez, 2016), en Hidalgo de febrero a abril (Figueredo-Urbina et al., 2022) y en Texas de marzo a mayo (Davis, 2017; Konstantinos et al., 2022; Mackay, 1996). En el caso de la producción de frutos maduros, en Michoacán ocurre de mayo a junio (Tovar-Rocha et al., 2014), en la Ciudad de México de julio a septiembre (Montoya-Pérez, 2016) y en Aguascalientes en octubre (Martínez-Calderón et al., 2022). En este contexto, la floración y la fructificación con respecto a la estacionalidad ocurren primero en sitios templados que en sitios mayormente secos y calurosos.

Por lo tanto, las fenologías reproductivas no ocurren de forma simultánea en todos los individuos de la especie a lo largo de su distribución, la cual abarca desde Nuevo México y Texas (E.U.A.), hasta Honduras y Nicaragua (Rzedowski & Rzedowski, 2010). La variación en la temporalidad de la floración y la fructificación de *A. xalapensis*, posiblemente esté influenciada por la variación de factores externos, ya sean condiciones ambientales como la temperatura o la precipitación (Cleland et al., 2007; Cortés-Flores et al., 2015; Tang et al., 2016). Asimismo, las interacciones ecológicas pueden influir de manera importante en el desarrollo fenológico, como es el caso de la fructificación que depende de la polinización por factores bióticos (Gezon et al., 2016; Thomson, 2010).

2. Observación y registro de avifauna

En el presente trabajo se registraron 24 especies de aves interactuantes con el madroño, de las cuales 16 se alimentan de fruta y seis de ellas consumen flores completas. No obstante, estas especies pertenecen a los gremios insectívoros, granívoros y omnívoros, por lo que ninguna de las 16 especies se considera frugívora. El esquema establecido por De Graaf et al. (1985), se basa en agrupar a las aves por su principal tipo de alimento y las clasifica en gremios alimenticios. Hoy en día se conoce que las aves no solo consumen alimentos de su gremio asignado, por lo que su dieta varía en función de la época reproductiva, la estacionalidad, la disponibilidad de recursos, la competencia, entre otros factores (Stevenson, 1933). Por ejemplo, no es extraño observar aves insectívoras comiendo frutos o semillas. Sin embargo, es relevante el estudio y registro de aquellos alimentos que las aves consumen y que no pertenecen a su gremio asignado, con la finalidad de expandir el conocimiento sobre la dieta de las aves. De esta manera, al conocer los alimentos que conforman su dieta, se pueden desarrollar trabajos en ecología para tratar de comprender como las distintas especies coexisten en un tiempo y lugar determinados (Smith y Smith, 2007).

Por otro lado, aunque muchas aves visitan flores durante su alimentación, se han registrado pocos casos de aves que consumen partes de las flores (antofagia) que no sea néctar o polen (Skutch, 1944). De los pocos trabajos que reportan aves comiendo flores, se registra que individuos de *Semnornis frantzii*, *Saltator* sp. y *Sporophila* sp. consumen flores en su dieta (Skutch, 1944), así como los loros (Cotton, 2001; Feinsinger et al., 1979) y el tucán esmeralda (*Aulacorhynchus prasinus*) a pesar de ser principalmente frugívoro (Riley, & Smith, 1986). En este trabajo se registró a seis especies de aves (*Icterus bullockii*, *I. cucullatus*, *Piranga flava*, *P. rubra*, *Turdus assimilis* y *T. migratorius*) que con frecuencia se alimentan de las flores de madroño a lo largo de la floración. Por lo tanto, la antofagia pare ser un fenómeno recurrente en la dieta de algunas aves en el sitio de estudio. Sin embargo, es un fenómeno que no ha sido lo suficientemente estudiado. Derivado de lo anterior, se desconoce información de su importancia en términos nutricionales, energéticos, así como la causa y el desarrollo que llevó a las aves a consumir flores en un inicio. No obstante, la escasez de recursos en la temporada de invierno en el área estudiada, puede ser un factor determinante

para que las aves modifiquen sus hábitos alimenticios (Ferber et al., 2014; Karr, 1976) y consuman flores de madroño, ya que su néctar es rico en azúcares (Freeman et al., 1985).

3. Captura y cautiverio de las aves

Durante el trabajo con las redes de niebla se capturaron a 12 de las 16 especies de aves que consumen de forma frecuente flores y/o frutos de madroño. Sin embargo, en la etapa de cautiverio y toma de muestras fecales solo se consideraron 10 especies. Lo anterior debido a que no se alcanzó la muestra mínima para dos especies (*Sialia mexicana* y *Piranga rubra*), porque el último día de muestreo se capturó un solo individuo de cada especie.

Para las seis especies que no se logró capturar individuos o no se alcanzó la muestra mínima para realizar el cautiverio, existen varios factores que pudieran estar determinando esta situación. En el caso de *Icterus cucullatus*, *Piranga rubra* y *Sialia mexicana* se pudo haber solucionado extendiendo el tiempo de muestreo debido a que las redes se encontraban bien colocadas coincidiendo con sus hábitos de vuelo, debido a que observamos que estas especies volaban con una altura entre 2 a 6 m cuando se dirigían a los madroños. Sin embargo, al extender los días de muestreo se podía comprometer la etapa de cautiverio debido a que los frutos de madroño una vez maduros, transcurren pocos días en alcanzar la senescencia, resultando poco atractivos para el consumo de las aves en cautiverio. En el caso de las especies *Cyanocitta stelleri*, *Tyrannus melancholicus* y *T. vociferans* su nula captura puede deberse a que las redes de niebla no estaban lo suficientemente altas para interceptarlas, debido a que estas especies llegan a la copa de los madroños y vuelan por arriba de los 5 m cuando se desplazan entre los árboles. Por otro lado, durante el estudio se registró que las especies *T. melancholicus* y *T. vociferans* mantenían un vuelo de baja altitud únicamente cuando forrajearan insectos del suelo, principalmente del orden Orthoptera, los cuales son abundantes en la temporada de primavera en el área de estudio.

4. Experimento de germinación

4.1 Muestras fecales

Las aves demandan una gran ingesta de alimento debido a su alta tasa metabólica y la necesaria digestión rápida de los alimentos, fenómenos fisiológicos generados por su elevada temperatura corporal, rápidos latidos del corazón, respiración rápida, y la constante actividad (Glazier, 2008; Munshi-South & Wilkinson, 2010; Stevenson, 1933). Por lo que, la cantidad, calidad y disponibilidad del alimento es importante para las aves. Sin embargo, es la disponibilidad la característica que tiene un mayor peso en la dieta de las aves; por lo que pocas especies se mantienen confinadas a un solo alimento, siendo la mayoría omnívoras (Stevenson, 1933). Los distintos alimentos de las aves difieren en valores nutricionales, los frutos son ricos en azúcares simples, las semillas son ricas en lípidos y proteínas, mientras que los insectos son ricos en proteínas y minerales (White, 1974; Foster, 1978; Johnson, et al. 1985). El caso de los frutos carnosos se ha interpretado como una estrategia de dispersión de semillas por parte de las plantas, ya que tienen caracteres atractivos para las aves, como el color, olor y recompensas nutricionales, entre otras (Schaefer et al., 2006; Willson et al., 1990). Por lo que existe una estrecha relación entre la fisiología digestiva de las aves frugívoras y el material que conforma los frutos y las semillas (Witmer & Van Soest, 1998). Sin embargo, las aves que se alimentan de frutos únicamente pueden ser dispersoras si su pico y fisiología no afectan o comprometen la viabilidad de las semillas.

El fruto de *A. xalapensis* se compone de carbohidratos, pequeñas cantidades de proteína, lípidos y fibra, así como Fe, Cu, Zn, Mg y Ca (Laferriere et al., 1991; Reyes et al., 2021). Por lo tanto, las especies de *Haemorhous mexicanus*, *Icterus bullockii* y *Junco phaeonotus*, degradaron totalmente las semillas de madroño, ya que son especies que se han reportado alimentándose de semillas e insectos principalmente, por lo que su digestión es capaz de procesar y asimilar tanto lípidos como proteínas y compuestos que conforman el exoesqueleto de insectos, los cuales son estructuralmente más complejos que las azúcares, y tratando de forma severa las semillas de madroño (Levey & Karasov, 1989; Stevenson, 1933). Estas aves al ser especies que degradan en su totalidad las semillas de madroño juegan un rol ecológico de especies depredadoras de fruta y semillas de *A. xalapensis* y pueden influir en sus parámetros poblacionales.

4.2 Viabilidad de las semillas

Uno de los trade-offs en la reproducción de las plantas, consiste en buscar el equilibrio entre el tamaño y la cantidad de semillas producidas, así como su dispersión exitosa (Linkies et al., 2010). Las semillas de gran tamaño favorecen el establecimiento de plántulas, pero su dispersión puede ser más compleja y requieren de un alto costo energético para su producción. En contraste, las semillas pequeñas se producen en mayor cantidad, su dispersión puede ser más sencilla, pero el porcentaje de reclutamiento es solo una pequeña parte del total de semillas producidas (Linkies et al., 2010, Saatkamp et al., 2019). *Arbutus xalapensis* es considerada una especie semillera, de acuerdo con sus características fenotípicas es capaz de producir semillas de alta calidad y en gran cantidad, a pesar de que sus semillas son pequeñas con una longitud de 1 a 2.5mm (Niembro et al., 2010; Ramírez-Marcial et al., 2003). En este trabajo se documentó para *A. xalapensis* un alto porcentaje de viabilidad, de las 1000 semillas extraídas de frutos tomados de los árboles (tratamiento control), el 98.4% contenían embrión. En el caso de las semillas recuperadas de muestras fecales se documentó un porcentaje de viabilidad mayor al 90% para todos los tratamientos. Por lo tanto, la fisiología digestiva de las especies de aves estudiadas *P. melanocephalus*, *P. ludoviciana*, *P. rubra*, *P. cinereus*, *S. sialis*, *T. assimilis* y *T. migratorius* no compromete la integridad y estructura de la semilla de *A. xalapensis*, por lo que el embrión no se ve afectado por el proceso digestivo, y por consecuencia no se ve afectada la viabilidad de las semillas.

4.3 Germinación de semillas

El vigor de las semillas es la relación que existe en el número de semillas germinadas y su velocidad de germinación. El alto vigor de la semilla se considera cuando hay una germinación rápida y uniforme, y un establecimiento exitoso de las plántulas. Por el contrario, la disminución en el vigor de la germinación inicialmente se manifiesta como un retraso creciente en la emergencia de la radícula, la finalización de la germinación y culmina en la pérdida de viabilidad de la semilla (De Vitis et al., 2020; Waterworth et al., 2019). En este trabajo se documentó una germinación uniforme en todos los tratamientos, ocurriendo entre los 8 y 11 días después de comenzar el experimento, donde se registró un incremento en la cantidad de semillas germinadas por día. El tiempo medio de germinación para todos

los tratamientos ocurrió entre los 10 y 11 días. Por lo que se puede mencionar que las semillas tienen un alto vigor.

El éxito de la germinación de semillas y el establecimiento de una plántula son características determinantes para la propagación de las especies vegetales. Debido a su alta vulnerabilidad a lesiones, enfermedades, depredación y estrés ambiental, la germinación se considera la fase más crítica en el ciclo de vida de la planta (Rajjou et al., 2012). Las semillas tolerantes a la desecación exhiben un bajo contenido de humedad (<15%) y reprimen los procesos metabólicos hasta que se produce la rehidratación tras la inhibición de la semilla. Desde una perspectiva evolutiva, la tolerancia a la desecación de las semillas parece estar asociada con plantas que crecen en ambientes más secos, mientras que la sensibilidad a la desecación es más común en ambientes húmedos (Weitbrecht et al., 2011). *Arbutus xalapensis* al ser una especie de bosque templado sus plántulas no son tolerantes al estrés hídrico (Reyes et al., 2021), lo que compromete el reclutamiento de la especie debido a que estos bosques tienen una temporada marcada de secas que va desde 1 a 9 meses según la localidad (Rzedowski, 1986). Una vez liberadas al medio, las semillas de madroño permanecen viables hasta un año esperando las condiciones favorables para germinar (Niembro et al., 2010; Ramírez-Marcial et al., 2003; Reyes et al., 2021). Sin embargo, las semillas se deterioran con el tiempo y la senescencia, por lo que disminuye su viabilidad (Waterworth et al., 2019).

En el presente trabajo se obtuvo un porcentaje de germinación del 100% en los tratamientos control y en las semillas obtenidas de *T. assimilis* y *T. migratorius*. Estos resultados indican que no hay diferencias en el número de semillas germinadas si estas son liberadas al medio por el árbol o por la ingesta y excreción de ambas especies del género *Turdus*, que pueden ser exitosamente dispersoras del madroño. Con un 97% de germinación para los tratamientos procedentes de las especies *S. sialis* y *P. flava*, también inferimos que juegan un papel de dispersión exitosa, así como las especies *P. cinereus* y *P. ludoviciana* ya que sus respectivos tratamientos mostraron un 89% de germinación. Por otro lado, las semillas procedentes de la especie *T. assimilis* fueron las únicas que mostraron diferencias significativas con respecto a las semillas control en el tiempo de germinación. No obstante, debido a que las semillas control son las que germinan primero con respecto al tiempo en los tratamientos procedentes de las aves, podemos inferir que las seis especies de aves anteriormente mencionadas pueden

ser dispersoras exitosas de *A. xalapensis*. Sin embargo, al no tener efectos significativos en la germinación no podemos argumentar que dichas interacciones tengan efecto positivo en la germinación con respecto al tratamiento control.

Los resultados pueden sugerir que ambos interactuantes se benefician, las aves se alimentan con los frutos del madroño y posteriormente dispersan los propágulos de *A. xalapensis* a mayor distancia de la planta madre, promoviendo la colonización de la especie a nuevos sitios en caso de que las semillas germinen y las plántulas se establezcan. Con respecto a la especie *P. melanocephalus*, el 79% de las semillas recuperadas de sus excretas germinó, el cual es un porcentaje inferior en comparación con el resto de los tratamientos. Sin embargo, la importancia ecológica de *P. melanocephalus* en relación con *A. xalapensis*, no ocurre únicamente durante el proceso de ingesta y excreción, sino también durante el consumo de fruta en el árbol. Durante las observaciones se registró que *P. melanocephalus* no consume las bayas completas, sino que las despedaza con el pico y solo come algunos fragmentos. Por lo que el resto de la fruta con semillas cae al suelo, donde la pulpa se descompone liberando las semillas al medio. Es evidente que se deben realizar estudios sobre el estado de las semillas al ser derribadas con o sin fragmentos de pulpa, ya que pueden estar dañadas por la acción mecánica del pico. Sin embargo, entre las semillas que logran ser recuperadas de las excretas tras la digestión y las que son derribadas al momento de consumir los frutos, podemos decir que *P. melanocephalus* juega un papel ecológico como especie que libera las semillas de *A. xalapensis*.

Con base en los hábitos alimenticios de las 10 especies de aves estudiadas en el presente trabajo, se realizó una toma de datos morfométricos, con la finalidad de encontrar una relación entre algún carácter morfológico (longitud total del ave, alto del pico, ancho del pico, longitud del culmen total, longitud del culmen expuesto y masa corporal del ave) de las aves y el porcentaje óptimo y de germinación para cada tratamiento (Anexo 3). Sin embargo, no se encontró relación, por lo que se puede inferir que el efecto de las aves en la germinación de madroño se encuentra estrechamente relacionado con la fisiología digestiva de las aves. No obstante, debido a que el objetivo fue evaluar las interacciones entre las especies de aves frugívoras y el madroño, el experimento de germinación se realizó en condiciones controladas de laboratorio. Por lo que es necesario realizar estudios del establecimiento de

las plántulas en condiciones ambientales y tomando en cuenta los distintos micrositios disponibles en los bosques para comprender en su totalidad el proceso de reclutamiento del madroño desde la fructificación hasta el establecimiento de las plántulas. Además, un trabajo de seguimiento de las plantas en condiciones ambientales nos puede brindar información sobre otros fenómenos importantes en la historia de vida de *A. xalapensis*, así como de sus respectivas interacciones ecológicas, como puede ser el caso de la depredación por herbívoros, polinización o frugivoría por parte de otros organismos como mamíferos e insectos que habiten en las hojas o la corteza, entre otras.

Finalmente, en este trabajo encontramos que la comunidad de aves juega un papel importante en el ciclo de vida de *A. xalapensis* entablando interacciones con efectos neutros a la germinación como el caso de los dispersores y las especies que liberan las semillas de los frutos. Asimismo, se entablan interacciones depredadoras en el caso de los frugívoros que digieren las semillas y los que consumen las flores enteras. Cuando las semillas son liberadas al suelo, comienza una de las etapas más cruciales en el ciclo de vida de las plantas, el establecimiento. Existen diversos factores ambientales que determinan las condiciones favorables para que las semillas germinen y posteriormente se establezcan, por lo que el papel que juegan los micrositios en el reclutamiento de *A. xalapensis* aún es desconocido. Por otro lado, el éxito del establecimiento de una semilla no sólo depende de la dispersión o de las condiciones ambientales, sino también de la interacción con otros organismos. Las semillas al ser liberadas al suelo quedan expuestas a la remoción y depredación por otros organismos, como hormigas, escarabajos, aves, entre otros, además de ser susceptibles a microorganismos, como hongos y bacterias. Considerando lo anterior, sabemos que el reclutamiento de *A. xalapensis* es un escenario complejo y desconocido, por lo que realizar estudios de las etapas posteriores a la dispersión de semillas, son de gran importancia para conocer la dinámica poblacional del madroño y su importancia ecológica dentro de la comunidad desde su establecimiento en un nuevo sitio hasta su maduración, ya que el madroño es una especie de importancia ecológica, económica y cultural.

Conclusiones

Los resultados de este estudio confirman la hipótesis propuesta, debido a que siete de las diez especies de aves estudiadas que consumen frutos de madroño mostraron tener un papel de posibles dispersores debido a sus altos porcentajes de viabilidad y germinación de semillas de *Arbutus xalapensis*. Mientras que las tres especies restantes mostraron ser depredadoras de los frutos y semillas de *A. xalapensis*.

La fenología floral tiene una duración de aproximadamente 60 días entre los meses de enero y febrero, donde el desarrollo del botón floral ocupa el 78% de la etapa fenológica. Durante la antesis de las flores se registraron visitantes florales (insectos y colibríes), así como aves que se alimentan de las flores. La fenología de los frutos tiene una duración de 160 días en promedio entre los meses de febrero a julio, donde el crecimiento y desarrollo del fruto ocupa un 80 % de la etapa fenológica y el 20 % restante corresponde a la maduración de los frutos. Es en esta última etapa en la que se registró el mayor número de aves interactuantes, las cuales se alimentan de los frutos.

Durante las dos etapas fenológicas estudiadas se registraron 24 especies de aves que interactuaron con el madroño debido a sus hábitos alimenticios. De las cuales, 16 especies consumen recurrentemente frutos de *A. xalapensis*.

Mediante el experimento de germinación con base en un grupo control y mediante análisis estadísticos, se logró evaluar el efecto de las especies de aves estudiadas en la germinación de *A. xalapensis*. Efectos que fueron neutros en el caso de las especies: *Pheucticus melanocephalus*, *Piranga flava*, *P. ludoviciana*, *Ptilogonys cinereus*, *Sialia sialis*, *Turdus assimilis* y *T. migratorius*, pero dichas especies son consideradas como posibles dispersoras exitosas de *A. xalapensis*. Por otro lado, el caso de las especies: *Haemorhous mexicanus*, *Icterus bullockii* y *Junco phaeonotus* mostraron tener un efecto negativo en la germinación de *A. xalapensis*.

Perspectivas

Los resultados de este estudio muestran la importancia de las interacciones ecológicas en la dinámica del ecosistema, especialmente en la comunidad vegetal. En este caso, la comunidad de aves afecta la germinación y dispersión de *A. xalapensis*, por lo que inferimos la posible repercusión de las aves sobre la dinámica poblacional del madroño.

Asimismo, los resultados del presente estudio como la ausencia de latencia en la germinación de semillas de madroño, el alto porcentaje de viabilidad y de germinación de las semillas extraídas de los frutos de *A. xalapensis*, puede ser información para considerar en el desarrollo de programas sobre reforestación de madroño. También, debido a que los madroños proporcionan alimento y refugio a la fauna asociada a los bosques templados, estabilizan los suelos, evitando la erosión y favoreciendo la retención de agua y cuentan con una gran capacidad de regeneración tras incendios forestales son especies potenciales para programas de restauración de áreas perturbadas en bosques templados.

Referencias

- Alarcão-E-Silva, M. L. C. M. M., Leitão, A. E. B., Azinheira, H. G., & Leitão, M. C. A. (2001). The *Arbutus* Berry: Studies on its color and chemical characteristics at two mature stages. *Food Composition and Analysis*, vol. 14 (1), pp. 27-35.
- Arizmendi, M. C. & Berlanga, H. (2014). Colibríes de México y Norteamérica. Hummingbirds of Mexico and North America. CONABIO. México.
- Berlanga, H. A., Gómez de Silva, H, Vargas Canales, V. M., Rodríguez Contreras, V., Sánchez González, L. A., Ortega Álvarez, R., & Calderón Parra, R. (2019) Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes 2019. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- Bertsouklis, K. F., & Papafotiou, M. (2013). Seed germination of *Arbutus unedo*, *A. andrachne* and their natural hybrid *A. andrachnoides* in relation to temperature and period of storage. *HortScience*, vol.48 (3), pp. 347-351.
- Bruns, H. (1960). The economic importance of birds in forests. *Bird Study*, vol. 7 (4), pp. 193-208.
- Charalambidou, I., Santamaria, L., & Langevoord, O. (2003). Effect of ingestion by five avian dispersers on the retention time, retrieval and germination of *Ruppia maritima* seeds. *Functional Ecology*, vol. 17 (6), pp. 747-753.
- 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 & Evolution*, vol. 22 (7), pp. 357-365.
- Clements, J. F., Schulenberg, T. S., Iliff, M. J., Fredericks, T. A., Gerbracht, J. A., Lepage, D., Billerman, S. M., Sullivan, B. L., & Wood, C. L. (2022). The eBird/Clements checklist of Birds of the World, 6th Edition. Recuperado el 14 de abril de 2023 de: <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/updateindex/october-2022/>

- Clout, M. N., & Hay, J. R. (1989). The importance of birds as browsers, pollinators and seed dispersers in New Zealand forests. *New Zealand Journal of Ecology*, vol. 12, pp. 27-33.
- Cortés-Flores, J., Cornejo-Tenorio, G., & Ibarra-Manríquez, G. (2015). Flowering phenology and pollination syndromes in species with different growth forms in a Neotropical temperate forest of Mexico. *Botany*, vol. 93 (6), pp. 361-367.
- Cotton, P. A. (2001). The Behavior and Interactions of Birds Visiting *Erythrina fusca* Flowers in the Colombian Amazon. *Biotropica*, vol. 33 (4), pp. 662-669.
- Dávila-Lara, M. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jurado-Ybarra, E., Treviño-Garza, E., González-Tagle, M. A., & Trincado, G. (2019). Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 6 (18), pp. 399-409.
- Davis, A. (2017). Characteristics and Distribution of *Arbutus xalapensis* (Texas Madrone) in the Edwards Plateau Region of Central Texas (Doctoral dissertation, The University of Texas at San Antonio).
- De Graaf, R. M., Tilghman, N. G., & Anderson, S. H. (1985). Foraging guilds of North American birds. *Environmental Management*, vol. 9, pp. 493-536.
- De Vitis, M., Hay, F. R., Dickie, J. B., Trivedi, C., Choi, J., & Fiegenger, R. (2020). Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology*, Special Issue, 28:S3, pp. S249-S255.
- Díaz-Armendáriz, A. (2018). Caracterización de morfotipos arbutoides asociados a *Arbutus xalapensis* Kunth., en suelos volcánicos del Corredor Biológico Chichinautzin. Tesis de maestría. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Dunn, J. L. & Alderfer, J. (2017). *Field guide to the birds of North America* (7th ed.). National Geographic Books.
- Eiserer, L. A. (1979). Roosttime restlessness in captive American Robins (*Turdus migratorius*). *Animal Learning & Behavior*, vol. 7 (3), pp. 406-412.

Eiserer, L. A. (1980). Ontogeny of roosttime restlessness in the American Robin (*Turdus migratorius*). *The Auk*, vol. 97 (1), pp. 194-196.

Encina-Domínguez, J. A., Zárate-Lupercio, A., Estrada-Castillón, E., Valdés-Reyna, J., & Villarreal-Quintanilla, J. Á. (2009). Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana*, (86), pp. 71-108.

Feinsinger, P., Linhart, Y. B., Swarm, L. A., & Wolfe, J. A. (1979). Aspects of the pollination biology of three *Erythrina* species on Trinidad and Tobago. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, vol. 66 (3), pp. 451-471.

Ferger, S. W., Schleuning, M., Hemp, A., Howell, K. M., & Böhning-Gaese, K. (2014). Food resources and vegetation structure mediate climatic effects on species richness of birds. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 23 (5), pp. 541-549.

Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., & Cortés Zárraga, L. (2022). Edible flowers commercialized in local markets of Pachuca de Soto, Hidalgo, Mexico. *Botanical Sciences*, vol. 100 (1), pp. 120-138.

Flores-Morales, E. A., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Alanís-Rodríguez, E., Angeles-Pérez, G., & Huizar-Amezcu, F. (2022). Diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo manejo en el municipio de pueblo nuevo, Durango, México. *Polibotánica*, (54), pp. 11-26.

Foster, M. S. (1978). Total frugivory in tropical passerines: a reappraisal. *Tropical Ecology*, vol. 19, pp. 131-151.

Freeman, C. E., Worthington, D. R. & Corral, D. R. (1985). Some floral nectar-sugar compositions from Durango and Sinaloa, Mexico. *Biotropical*, vol. 17 (4), pp. 309-313.

Galicia, L., Chávez-Vergara, B. M., Kolb, M., Jasso-Flores, R. I., Rodríguez-Bustos, L. A., Solís, L. E., ... & Villanueva, A. (2018). Perspectivas del enfoque socioecológico en la conservación, el aprovechamiento y pago de servicios ambientales de los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, vol. 24(2), pp. 1-18.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.

García-Moreno, J., Clay, R. P., & Ríos-Muñoz, C. A. (2007). The importance of birds for conservation in the Neotropical region. *Journal of Ornithology*, vol. 148 (2), pp. 321-326.

GBIF.org (20 October 2023) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.vrpean>

Gezon, Z. J., Inouye, D. W., & Irwin, R. E. (2016). Phenological change in a spring ephemeral: implications for pollination and plant reproduction. *Global Change Biology*, vol. 22 (5), pp. 1779-1793.

Glazier, D. S. (2008). Effects of metabolic level on the body size scaling of metabolic rate in birds and mammals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 275 (1641), pp. 1405-1410.

González-Elizondo, M. S., & González-Elizondo, M. (2014). Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 183, Familia Ericaceae, pp 8-33.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., & Sørensen, P. D. (2012a). *Arbutus bicolor* (Ericaceae, Arbutae), a new species from Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, (99), pp. 55-72.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012b). Vegetación de la sierra madre occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, (100), pp. 351-403.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., & Zamudio, S. (2012c). Delimitación taxonómica de *Arbutus mollis* y *A. occidentalis* (Ericaceae). *Acta Botánica Mexicana*, (101), pp. 49-81.

González-Villarreal, L. M. (1990). Las ericáceas de Jalisco, México. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México. pp. 29-45.

Guridi, L.C. (1981). La Madera en las artesanías del estado de Michoacán. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Boletín Divulgativo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, (50), pp. 120.

Hileman, L. C., Vasey, M. C., & Parker, V. T. (2001). Phylogeny and biogeography of the Arbutoideae (Ericaceae): implications for the Madrean-Tethyan hypothesis. *Systematic Botany*, vol. 26 (1), pp. 131-143.

Howell, S. N., & Webb, S. (1995). A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press.

Huff, M. H., Bettinger, K. A., Ferguson, M. L., Brown, M. J., & Altman, B. (2000). A habitat-based point-count protocol for terrestrial birds, emphasizing Washington and Oregon. US Department of Agriculture, Portland. OR (2000), pp. 501.

Johnson, R. A., Willson, M. F., Thompson, J. N. & Bertin, R. I. (1985). Nutritional values of wild fruit and consumption by migrant frugivorous birds. *Ecology*, vol. 66 (3), pp. 819-827

Karr, J. R. (1976). Seasonality, resource availability, and community diversity in tropical bird communities. *The American Naturalist*, vol. 110 (976), pp. 973-994.

Kleyheeg, E., Claessens, M., & Soons, M. B. (2018). Interactions between seed traits and digestive processes determine the germinability of bird-dispersed seeds. *PLOS One*, vol. 13 (4), e0195026.

Konstantinos, F. B., Martin, R. W., & Papafotiou, M. (2022). A first study on flower morphology of six arbutus species, one hybrid and one cultivar of the mediterranean basin and north america. *Proceedings of the XIII International Scientific Agricultural Symposium Agrosym* 2022, pp.376-380, http://agrosym.ues.rs.ba/article/showpdf/BOOK_OF_PROCEEDINGS_2022.pdf

Laferriere, E. J., Weber, Charles, W. & Kolhepp, E. A. (1991). Use and nutritional composition of some traditional mountain pima plant foods. *Journal of Ethnobiology*, vol. 11 (1), pp. 93-114.

Levey, D. J., & Karasov, W. H. (1989). Digestive responses of temperate birds switched to fruit or insect diets. *The Auk*, vol. 106 (4), pp. 675-686.

Linkies, A., Graeber, K., Knight, C., & Leubner, M. G. (2010). The evolution of seeds. *New Phytologist*, vol. 186 (4), pp. 817-831.

MacGregor-Fors, I., Morales-Pérez, L., Quesada, J., & Schondube, J. E. (2010). Relationship between the presence of House Sparrows (*Passer domesticus*) and Neotropical bird community structure and diversity. *Biological Invasions*, vol. 12 (1), pp. 87-96.

Mackay, W. A. (1996). Micropropagation of Texas madrone, *Arbutus xalapensis* HBK. *HortScience*, vol. 31 (6), pp. 1028-1029.

Martínez-Calderón, V. M., Sosa-Ramírez, J., Luna-Ruíz, J. D. J., Pérez-Salicrup, D. R., & Sandoval-Ortega, M. H. (2022). Effect of storage and pre-germination treatments on seeds of *Arbutus xalapensis* from north-central Mexico. *New Forests*, (54), pp. 1-12.

Martins, J., Pinto, G., & Canhoto, J. (2022). Biotechnology of the multipurpose tree species *Arbutus unedo*: a review. *Journal of Forestry Research*, vol. 33 (2), pp. 377-390.

Medina, M. E. (1a Ed.). (2018), "Manual para trazar la Unidad de Muestreo en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas", BIODIVERSIDAD-Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad, una guía para núcleos agrarios, Comisión Nacional Forestal-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México. https://biocomuni.mx/documentos/manual_biocomuni_fauna.pdf

Mesléard, F., & Lepart, J. (1991). Germination and seedling dynamics of *Arbutus unedo* and *Erica arborea* on Corsica. *Journal of Vegetation Science*, vol. 2 (2), pp. 155-164.

Molina, M., Pardo-de-Santayana, M., Aceituno, L., Morales, R., & Tardío, J. (2011). Fruit production of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) in two Spanish forests. *Forestry*, vol. 84 (4), pp. 419-429.

Montoya-Pérez, L. E. (2016). Estudio demográfico de *Arbutus xalapensis*, kunth (ericaceae) en el bosque de Tlalpan, D.F., México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional

Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/440259>

Moreno, N. P. (1984). Glosario botánico ilustrado. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Compañía Editorial Continental. Xalapa, Veracruz, México.

Munshi-South, J., & Wilkinson, G. S. (2010). Bats and birds: exceptional longevity despite high metabolic rates. *Ageing Research Reviews*, vol. 9 (1), pp. 12-19.

Narbona, F. F. E., Arista, P. M., & Ortiz, B. P. L. (2003). Germinación de las semillas del madroño (*Arbutus unedo* L., Ericaceae). *Acta Botanica Malacitana*, (28), pp. 73-78.

Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M., Gordillo-Martínez, A., Townsend Peterson, A., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85, pp. S476-S495.

Niembro, R. A., Vázquez, T. M. & Sánchez, S. O. (2010). Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación estratégica. Secretaría de Educación-Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Veracruz. México. Pp. 38-39.

Nixon, K.C. (1993). The genus *Quercus* in Mexico. En Ramamoorthy, T. P., Bye R., Lot, A., & Fa, J. (Eds), *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*, pp. 447-458. Nueva York, Estados Unidos: Oxford University Press.

Ortega, F. M., Maya, E. E., & Schondube, J. E. (2018). Effects of Rufous-Backed Robin (*Turdus rufopalliatu*s) on Brazilian Pepper-Tree (*Schinus terebinthifolius*) Seed Germination and Dispersal in a Subtropical Peri-Urban Environment. *Tropical Conservation Science*, vol. 11, pp. 1-8.

Pérez, O.C.P. (1993). Anatomía de la madera de ocho especies con importancia en las artesanías del Estado de Michoacán. *Acta Botánica Mexicana*, Instituto de Ecología, A.C. Pátzcuaro, México. (23), pp. 103-136.

Pérez, N. N., Martínez C. J., & Lindig C. R. (2019). Manual de prácticas de propagación de especies nativas. Pp. 26.

- Perlo, B. V. (2006). Field guide to the birds of Mexico and Central America. Collins.
- Piotto B, Piccini C, Arcadu P (2001) Schede informative sulla propagaione per seme degli alberi e degli arbusti più diffusi della fora mediterranea. In: Piotto B, Noi A. Propagazione per seme di alberi e arbusti della fora mediterranea. Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente, Rome. Pp 32–38.
- Pipinis, E., Stampoulidis, A., Milios, E., Kitikidou, K. & Radoglou, K. (2017). Effects of cold stratification and GA3 on germination of *Arbutus unedo* seeds of three provenances. African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, vol. 14 (1), pp. 318-323.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C., & Job, D. (2012). Seed germination and vigor. Annual Review of Plant Biology, vol. 63, pp. 507-533.
- Ralph, J. C., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F. & Milá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report PSW-GTR-159-Web. Albany,CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Pp. 6-33.
- Ramírez-Marcial, N., A. Camacho-Cruz y M. González-Espinosa. (2003). Guía para la propagación de especies leñosas nativas de los Altos y montañas del Norte de Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas. Chiapas, México. Pp. 29-35.
- Ramírez-Sánchez, L. G., Rosete-Verges, F. A., & Campos, M. (2019). Biophysical landscapes of the Ejido Tzurumútaró, Michoacán, Mexico. Journal of Maps, vol. 15 (2), pp. 278-282.
- Rangel-Salazar, J. L., Enríquez-Rocha, P., Altamirano-González-Ortega, M. A., Macías-Caballero, C., Castillejos-Castellanos, E., González-Domínguez, P. & CONABIO. (2013). Diversidad de aves: un análisis espacial. La biodiversidad en Chiapas. Estudio de estado, (2), pp. 329-337.

Reyes, S. J., Islas, L. M. A. & Hernández, C. N. (2021). Catálogo de especies nativas-Viveros Yecapixtla y Nezahualcóyotl. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Ciudad de México. México. Pp. 28-31.

Ricardo, C. P. P. & Veloso, M. M. (1987). Features of seed germination in *Arbutus unedo* L., pp. 565-572. In J. D. Tenhunen, F. M. Catarino, O. L. Lange & W.C. Occhcl. Plant Response to stress, Berlin, Springer Verlag.

Riley, C. M., & Smith, K. G. (1986). Flower eating by emerald toucanets in Costa Rica. The Condor, vol. 88 (3), pp. 396-397.

Robertson, A. W., Trass, A., Ladley, J. J., & Kelly, D. (2006). Assessing the benefits of frugivory for seed germination: the importance of the deinhibition effect. Functional ecology, vol. 20 (1), pp. 58-66.

Rodríguez, G. M. F., Huerta, E. J., Villaseñor, M. H. E., Rivas, V. P., González, G. M., Rosa, H. S., Robles, Y. L., & Aranda, O. S. (2020). Chemical treatment to wheat seed to reduce the incidence of bacteria. Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 38 (2), pp. 239-249.

Rodríguez, S. A., & Morales, J. B. (2005). Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. Boletín de la Sociedad Botánica de México, (77), pp. 51-58.

Rzedowski, J. (1986). Vegetación de México. Editorial Limusa. D.F. México. Pp. 263-315.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botánica Mexicana, (14), pp. 3-21.

Rzedowski, G. C. D., & Rzedowski, J. (2010). Flora fanerogámica del Valle de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Pp. 527-528.

Saatkamp, A., Cochrane, A., Commander, L., Guja, L. K., Jimenez-Alfaro, B., Larson, J., ... & Walck, J. L. (2019). A research agenda for seed-trait functional ecology. *New phytologist*, vol. 221 (4), pp. 1764-1775.

Schaefer, H. M., Levey, D. J., Schaefer, V., & Avery, M. L. (2006). The role of chromatic and achromatic signals for fruit detection by birds. *Behavioral Ecology*, vol. 17 (5), pp. 784-789.

Schupp, E. W., (1993). Quantity, quality and the effectiveness of seed dispersal by animals. *Vegetatio* vol. 107 (108), pp. 15–29.

Sibley, D. (2014). *The Sibley guide to birds* (2nd ed.). National Audubon Society.

Skutch, A. F. (1944). The life-history of the Prong-billed Barbet. *The Auk*, vol. 61 (1), pp. 61-88.

Smith, T. M y Smith, R. L. (2007). *Ecología*. Ed. 6ta. Pearson Addison Wesley. Madrid, España. Pp.358.

Stevenson, J. (1933). Experiments on the digestion of food by birds. *The Wilson Bulletin*, vol. 45 (4), pp. 155-167.

Tabur, M. A., & Ayvaz, Y. (2010). Ecological importance of birds. In *Second International Symposium on Sustainable Development Conference*. Pp. 560-565.

Tang, J., Körner, C., Muraoka, H., Piao, S., Shen, M., Thackeray, SJ & Yang, X. (2016). Emerging opportunities and challenges in phenology: a review. *Ecosphere*, vol. 7 (8), e01436.

Thomson, J. D. (2010). Flowering phenology, fruiting success and progressive deterioration of pollination in an early-flowering geophyte. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 365 (1555), pp. 3187-3199.

Tilki, F. (2004). Improvement in seed germination of *Arbutus unedo* L. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 7 (10), pp. 1640-1642.

Tort, N., & Turkyilmaz, B. (2003). Physiological effects of captan fungicide on pepper (*Capsicum annuum* L.) plant. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 6 (24), pp. 2026-2029.

Tovar-Rocha, V., Rocha-Granados, M., & Delgado-Valerio, P. (2014). Influence of fruit ripening of *Arbutus xalapensis* kunth on the germination of seeds and zigotyc embryos. *Polibotánica*, (37), pp. 79-92.

Waterworth, W. M., Bray, C. M., & West, C. E. (2019). Seeds and the art of genome maintenance. *Frontiers in Plant Science*, vol. 10, 706.

Weitbrecht, K., Müller, K., & Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: early seed germination. *Journal of experimental botany*, vol. 62 (10), pp. 3289-3309.

Wheelwright, N. T. (1988). Fruit-eating birds and bird-dispersed plants in the tropics and temperate zone. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 3 (10), pp. 270-274.

White, S. C. (1974). Ecological aspects of growth and nutrition in tropical fruit-eating birds. Ph.D. dissertation, Philadelphia, Pennsylvania, Univ.Pennsylvania.

William, E. D. S. (1902). Scott on the Song of Baltimore Orioles in Captivity. *The Auk*, Oxford University Press, vol. 19 (1), pp. 102-104.

Williams, P. A., & Karl, B. J. (1996). Fleshy fruits of indigenous and adventive plants in the diet of birds in forest remnants, Nelson, New Zealand. *New Zealand journal of ecology*, vol. 20 (2), pp. 127-145.

Willson, M. F. (1994). Fruit choices by captive American robins. *The Condor*, vol. 96 (2), pp. 494-502.

Willson, M. F., & Whelan, C. J. (1990). The evolution of fruit color in fleshy-fruited plants. *The American Naturalist*, vol. 136 (6), pp. 790-809.

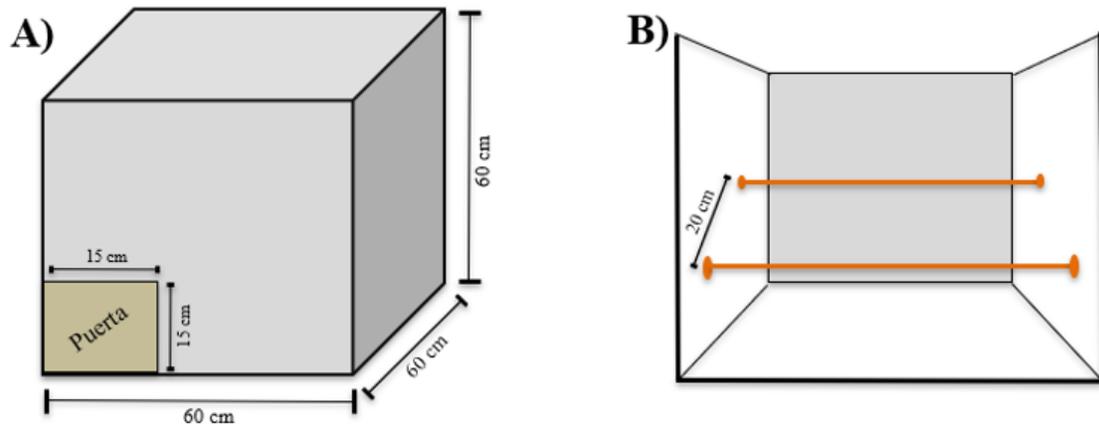
Willson, M. F., Graff, D. A., & Whelan, C. J. (1990). Color preferences of frugivorous birds in relation to the colors of fleshy fruits. *The Condor*, vol. 92 (3), pp. 545-555.

Witmer, M. C., & Van Soest, P. J. (1998). Contrasting digestive strategies of fruit-eating birds. *Functional Ecology*, vol. 12 (5), pp. 728-741.

Anexos

Anexo 1. Diagrama de jaulas.

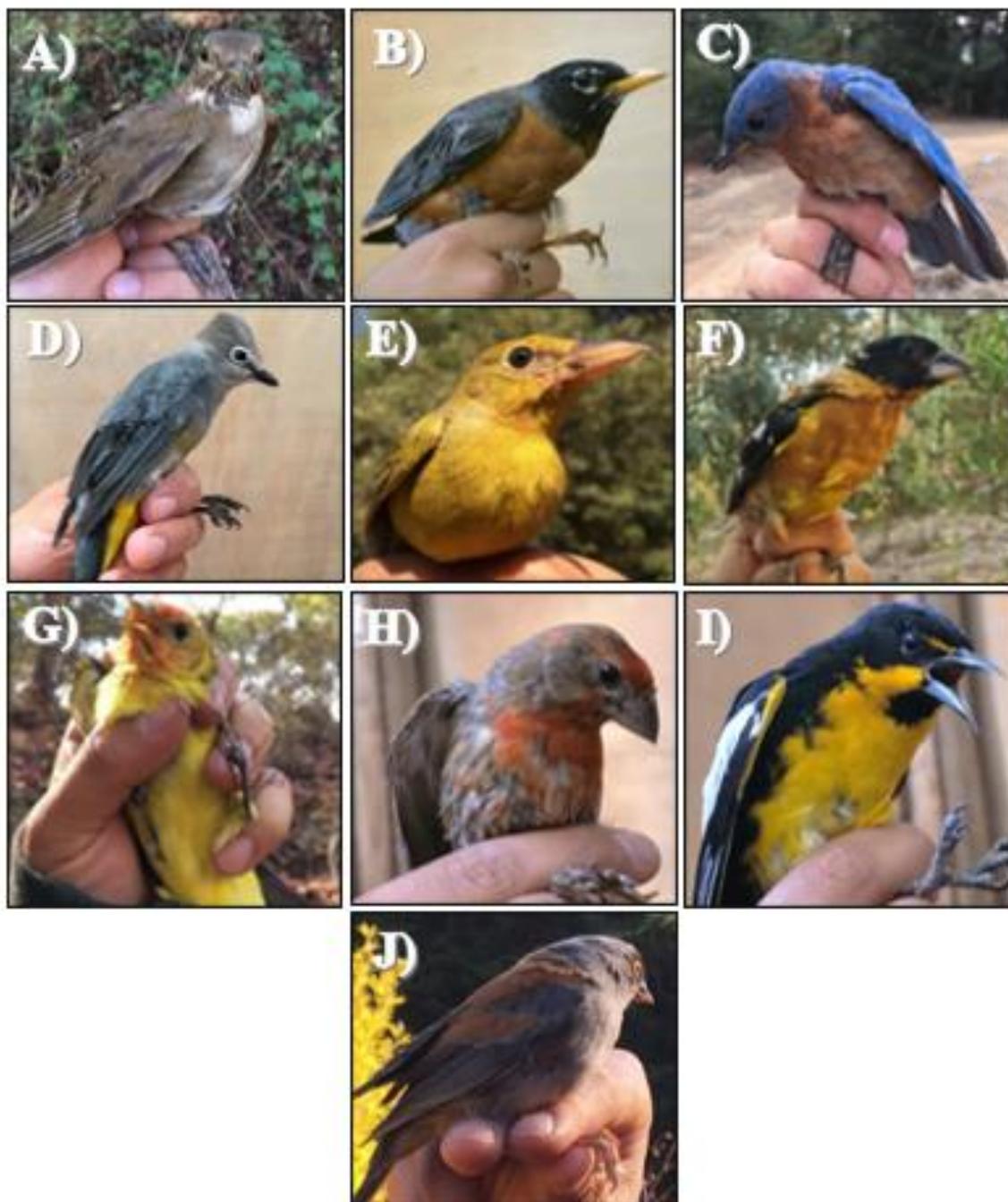
Las aves de interés que se capturaron para el presente estudio se mantuvieron en cautiverio temporal en jaulas individuales.



Anexo 1. A) Diagrama exterior de las jaulas y B) diagrama interior de las jaulas, mostrando la ubicación de las perchas.

Anexo 2. Aves capturadas y en cautiverio.

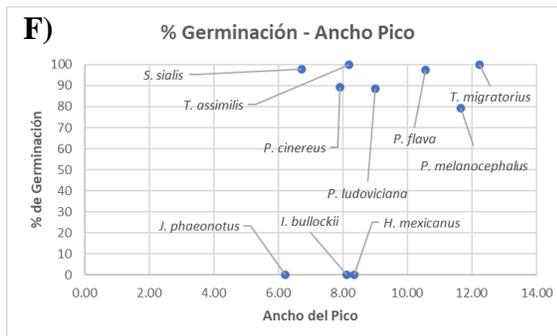
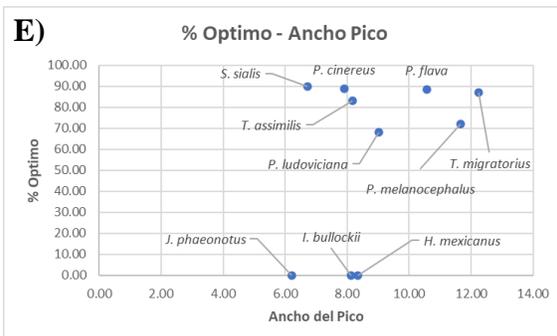
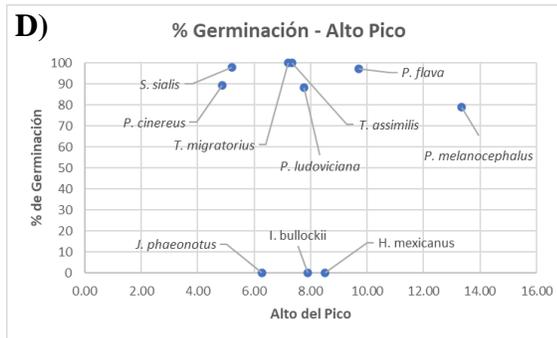
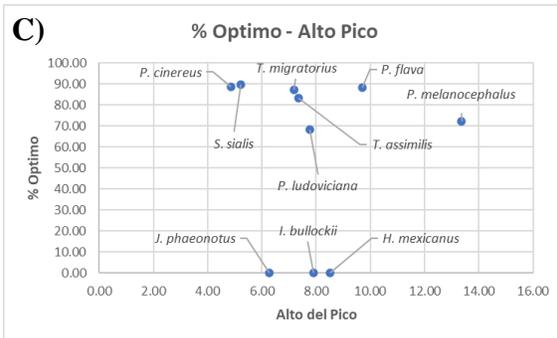
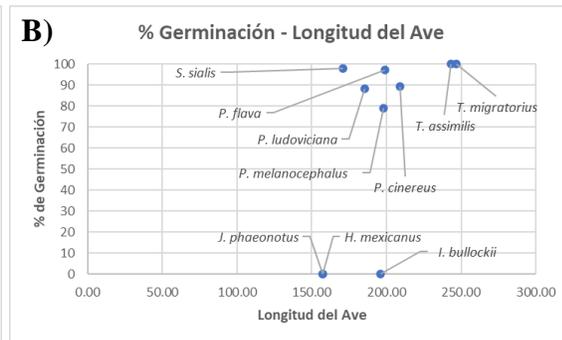
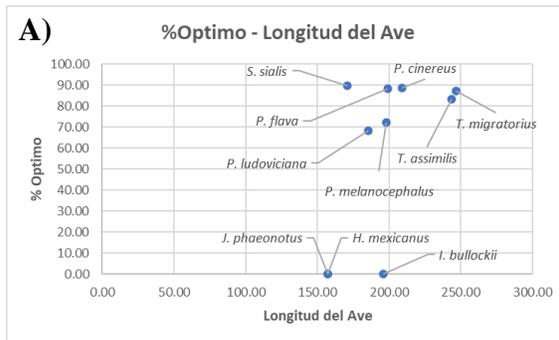
Durante la observación de la avifauna se registraron 16 especies de aves que consumen frutos de madroño. Por lo cual el muestreo fue dirigido a estas especies. Sin embargo, solo se lograron capturar individuos de 12 especies, de las cuales solo 10 especies fueron sometidas a cautiverio.

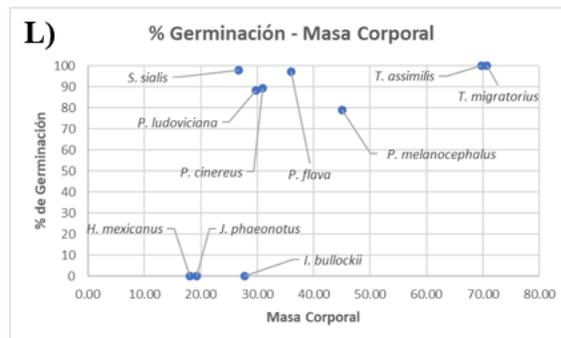
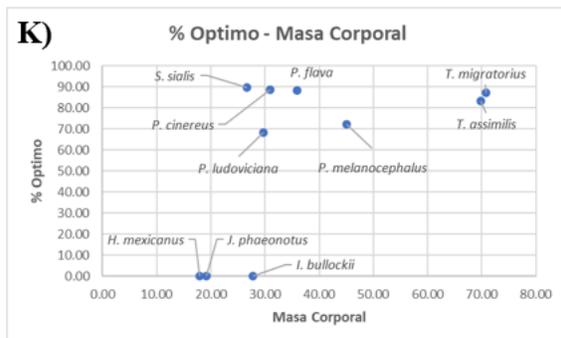
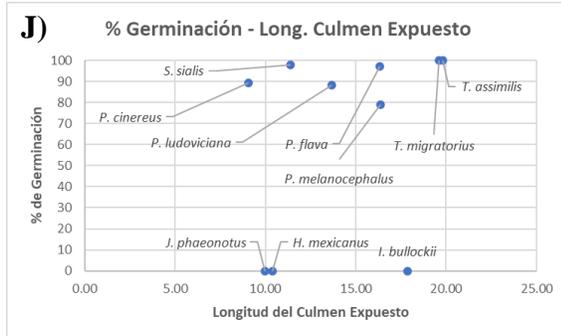
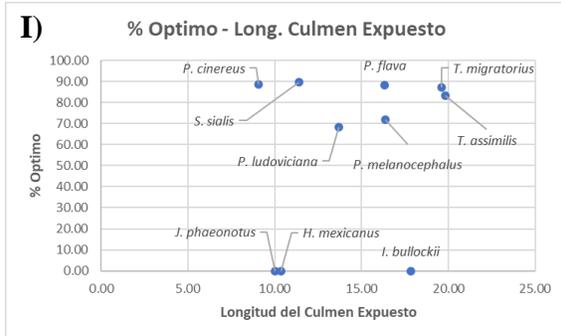
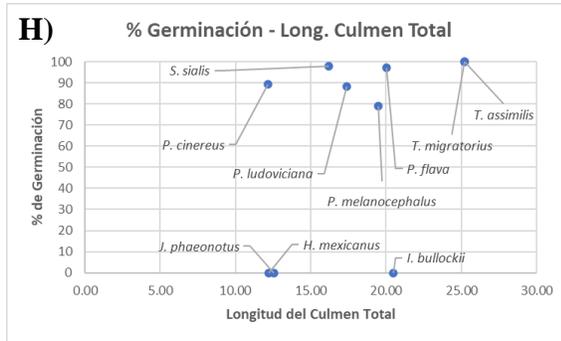
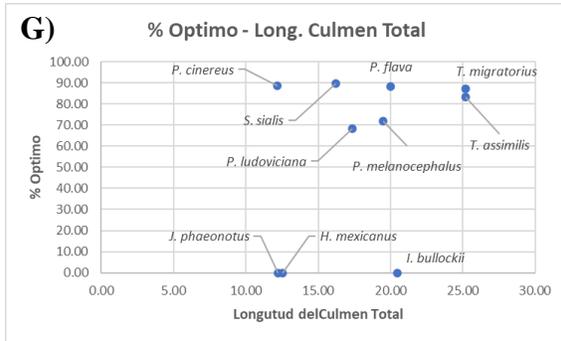


Anexo 2. Aves capturadas. *Turdus assimilis* (A), *Turdus migratorius* (B), *Sialia sialis* (C), *Ptilonotus cinereus* (D), *Piranga flava* (E), *Pheucticus melanocephalus* (F), *Piranga ludoviciana* (G), *Haemorhous mexicanus* (H), *Icterus bullockii* (I) y *Junco phaeonotus* (J).

Anexo 3. Relación entre datos morfométricos y el porcentaje optimo y de germinación.

Se tomaron datos morfométricos (longitud total del ave, alto del pico, ancho del pico, longitud del culmen total, longitud del culmen expuesto y masa corporal) de las 10 especies de aves estudiadas con la finalidad de encontrar una relación entre algún carácter morfológico de las aves y el porcentaje optimo y de germinación para cada especie. Los datos se tomaron de ejemplares pertenecientes a la Colección Biológica de Ornitología de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.





Anexo 3. Relación entre datos morfométricos y el porcentaje óptimo y de germinación. Relación de porcentajes con la longitud de las aves (A y B), relación de porcentajes con el alto del pico (C y D), relación de porcentajes con el ancho del pico (E y F), relación de porcentajes con la longitud total del culmen (G y H), relación de porcentajes con la longitud del culmen expuesto (I y J) y relación de porcentajes con la masa corporal de las aves (K y L).