



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SEMILLAS DE HEMBRAS Y
HERMAFRODITAS DE *FUCHSIA MICROPHYLLA*, UNA ESPECIE
GINODIOICA CON CRECIMIENTO CLONAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

PRESENTA

DAYRA NAIAN PARAMO HUERTA

DIRECTOR

DR. LUIS FERNANDO ROSAS PACHECO

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 9 de julio de 2026

Número de control: ICBI-D/1311/2026

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado a la egresada de la Licenciatura en Biología **Dayra Naian Paramo Huerta**, quien presenta el trabajo de titulación **"Evaluación de la calidad de semillas de hembras y hermafroditas de Fuchsia microphylla, una especie ginodioica con crecimiento clonal"**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: M. en C. Manuel González Ledesma

Secretario: Dra. Maritza López Herrera

Vocal: Dr. Luis Fernando Rosas Pacheco

Suplente: Dra. Claudia Teresa Hornung Leoni

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

A Dios por acompañarme siempre, por permitirme ser quien soy y llegar hasta aquí.

A mi madre Mónica Huerta, por ser mi mayor fuente de inspiración y motivación para lograr todo lo que me propongo, te amo ma.

A mi padre Arturo Páramo por todo tu apoyo que me has brindado en todo este tiempo, te amo pa.

Gracias que sin su apoyo y amor incondicional no habría logrado todo lo que soy y lo que seré, gracias por todo, estaré eternamente agradecida.

A mis hermanos, Eathan Aldair y Ewen Damek que con su presencia y sus ocurrencias siempre me hacen sentir mejor, gracias por darme ánimos, los quiero con el corazón.

A Mimi, por siempre estar ahí conmigo, por escucharme, apoyarme y por ser uno de mis grandes amores, te amo. A Jo, un gran ejemplo a seguir, que aún estando lejos siento su presencia y su amor cerquita.

A mi familia, mis tías (Evy, Sandy, Kary y Ely), mis primos (Darinka, Lalo, Leo, Uri, Joe, Emi, Chepe) a todos mis Huertas, gracias por su amor, motivación, ánimo y alegría que siempre me brindan, los llevo en el corazón a donde quiera que vaya, los amo. ¡Un Huerta nunca se rinde!

A mi mejor amiga, Ana, gracias por estar siempre, por no dejarme sola, por ayudarme y escucharme cada vez que tenía algo que decir, gracias por ser mi curita al corazón, te amo siempre.

A mis grandes amigos, Angelito y Ely, gracias por acompañarme a lo largo de este proceso, por compartir grandes momentos y por estar siempre para mí cuando lo necesitara, los quiero muchísimo.

Al Doctor Luis Fernando Rosas Pacheco por su guía, ayuda, paciencia y sobre todo comprensión para la elaboración de este trabajo, gracias Doc.

A Dieguito, gracias por tu apoyo y ayuda en el trabajo experimental.

A los miembros de mi comité evaluador, gracias por su tiempo, paciencia y observaciones que le otorgaron a este trabajo más claridad.

A todas las personas que siempre han confiado y creído en mí.

Gracias infinitas.

ÍNDICE

1	RESUMEN	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
3	ANTECEDENTES	4
3.1	Ginodioicismo y mantenimiento de hembras	4
3.2	Compensación femenina.....	4
3.3	Calidad de semillas como componente de la compensación femenina	5
3.4	Servicio de polinización y éxito reproductivo de las hembras	6
3.5	Crecimiento clonal y sus consecuencias reproductivas	6
3.6	<i>Fuchsia microphylla</i> como modelo de estudio	7
4	OBJETIVOS.....	10
4.1	GENERAL.....	10
4.2	ESPECÍFICOS.....	10
5	HIPÓTESIS GENERAL.....	10
5.1	HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	10
5.2	PREDICCIONES.....	11
6	JUSTIFICACIÓN	11
7	MATERIAL Y MÉTODOS	12
7.1	Obtención de semillas para el experimento	12
7.2	Área de estudio	12
7.3	Evaluación de la calidad de las semillas	13
7.3.1	Ensayos preliminares de germinación	13
7.3.2	Diseño del experimento	13
7.3.3	Germinación	13
7.3.4	Supervivencia	13
7.3.5	Crecimiento.....	14
7.4	Análisis estadístico de los datos	15
8	RESULTADOS.....	16

8.1	Germinación de las semillas	16
8.2	Supervivencia de las plántulas	17
8.3	Crecimiento de las plántulas	18
9	DISCUSIÓN.....	20
9.1	Calidad de las semillas y compensación femenina	20
9.2	Germinación	20
9.3	Supervivencia de plántulas	21
9.4	Crecimiento temprano	21
9.5	Factores ecológicos asociados con la variación en la calidad de la progenie	22
10	CONCLUSIONES.....	23
11	BIBLIOGRAFÍA	24

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Esquema de la propagación clonal de *F. microphylla*.
2. Flores de *F. microphylla*. (a) Hermafroditas, (b) Hembras.
3. Dimorfismo sexual en *F. microphylla*. Las flores de hermafroditas son más grandes (arriba) que las flores de las hembras (abajo).
4. Parque Nacional El Chico ubicado en el estado de Hidalgo.
- 5a. Proceso de germinación y trasplante de plántulas, a) Semillas en hidratación, b) Charola de germinación con sustrato, c) Comienzo de la germinación, d) Plántulas retiradas de un pozo individual, e) Plántula lista para trasplantar y f) Selección de un pozo individual aleatorio.
- 5b. Trasplante y crecimiento de plántulas, g) Trasplante de una plántula, h) Plántulas en periodo de crecimiento, i) Altura de las plántulas y j) Hojas de una plántula.
6. Germinación de semillas de hembras y hermafroditas de *F. microphylla* en un periodo de 6 semanas.
7. Porcentaje de supervivencia de las plántulas de hembras y hermafroditas de *F. microphylla* en un periodo de 10 semanas.
8. Crecimiento de las plántulas de hembras y hermafroditas de *F. microphylla* en un periodo de 10 semanas. (a) Número de hojas por plántula y (b) Longitud de los tallos de las plántulas.

ÍNDICE DE TABLAS

1. Germinación de las semillas de ambos morfos florales.
2. Supervivencia de las plántulas de ambos morfos florales.
3. Crecimiento de las plántulas de ambos morfos florales.

1 RESUMEN

Debido a la desventaja reproductiva de hembras frente a hermafroditas su mantenimiento en poblaciones ginodioicas depende de que produzcan progenie en mayor cantidad o de más calidad que la de hermafroditas. En este trabajo se emplearon plantas de *Fuchsia microphylla* Kunth subsp. *microphylla* para evaluar la influencia del morfo sexual en la viabilidad y el desempeño de la progenie. Utilizando una cámara de crecimiento se implementó un experimento de germinación de semillas y de crecimiento de progenies de hermafroditas y de hembras. Bajo condiciones controladas el porcentaje de germinación de semillas de hermafroditas (21%) fue mayor que el de semillas de hembras (15%), pero la diferencia no fue significativa. El porcentaje de supervivencia fue del 93% y del 82% para plántulas de hermafroditas y hembras respectivamente. A pesar de la variación observada no se detectaron diferencias significativas asociadas con este componente de la calidad de las plántulas ($t = -1.60$, $p = 0.12$). Las plántulas de hermafroditas son 16% más grandes y tienen 14% más hojas que las plántulas de hembras. Sin embargo, para ninguna de estas dos variables se detectaron efectos significativos asociados con el morfo de la planta materna ($t < 1.5$, $p > 0.12$ en ambos casos). Debido a la ausencia de efectos significativos del morfo de las plantas maternas sobre los componentes de la calidad de la progenie evaluados, los resultados indican que el mantenimiento de plantas con esterilidad masculina (hembras) en *F. microphylla* no está relacionado con una ventaja reproductiva de las hembras, que este determinada por una mayor calidad de sus semillas y plántulas. Por lo tanto, otros factores asociados (como la producción de semillas) a la adecuación femenina relativa de ambos morfos, deben explicar el mantenimiento de plantas con esterilidad masculina en las poblaciones de *F. microphylla* estudiadas en este trabajo.

Palabras clave: semillas, plántulas, germinación, supervivencia, crecimiento, desventaja reproductiva

2 INTRODUCCIÓN

El ginodioicismo es un sistema reproductivo en el que coexisten individuos hermafroditas y hembras (plantas con esterilidad masculina) en la misma población (Charlesworth, 2002; Barrett, 2002). Mientras que los individuos hermafroditas se reproducen y contribuyen a la siguiente generación a través de ambas funciones sexuales, masculina (polen) y femenina (semillas), las hembras se reproducen exclusivamente mediante la producción de semillas (Shykoff, 1992). Esta asimetría funcional implica que las plantas hembras tienen una desventaja reproductiva inherente frente a las hermafroditas, ya que no tienen una contribución genética por la vía masculina. De acuerdo con diversos modelos teóricos (Charlesworth y Charlesworth, 1978; Charlesworth, 1981), la persistencia de las hembras en poblaciones ginodioicas requiere la existencia de mecanismos compensatorios que contrarresten esta desventaja (Lewis, 1941; Lloyd, 1975; Shykoff et al., 2003). Para que las hembras se mantengan en la población, deben compensar la pérdida de la función masculina mediante una mayor contribución por la vía femenina (Charlesworth, 1981). Esta compensación puede lograrse a través de: una mayor producción de semillas, o la producción de semillas de mayor calidad en comparación con las hermafroditas (Shykoff et al., 2003; Varga, 2021). En este contexto, la calidad de las semillas, entendida como su capacidad de germinar y producir plántulas viables, se vuelve un componente clave del éxito reproductivo y del mantenimiento de sistemas ginodioicos.

En las especies ginodioicas, el servicio de polinización es fundamental para el éxito reproductivo, porque los polinizadores son responsables del transporte de polen entre individuos (Shykoff et al., 2003). Sin embargo, la dependencia de este servicio no es equivalente entre sexos. Las hembras dependen completamente de los polinizadores para recibir polen, debido a su esterilidad masculina (Schemske y Lande, 1985; Maurice y Fleming, 1995; Mc Cauley y Taylor, 1997). En contraste, los hermafroditas pueden, en cierto grado, asegurar su reproducción mediante la autopolinización o la geitonogamia (Richards, 1986; Widén y Widén, 1990). Sin embargo, se ha descrito que en especies mexicanas y centroamericanas de *Fuchsia* sección *Encliandra*, con subdioicismo, las flores aparentemente perfectas que aparecen en algunos individuos de las poblaciones son funcionalmente estaminadas (Kalin y Raven, 1975). El éxito reproductivo de las hembras está más estrechamente ligado a la disponibilidad y eficiencia de los polinizadores (Ashman et al., 2000; Shykoff et al., 2003). La compensación femenina no es independiente de condiciones ambientales locales, sino que está condicionada por el contexto ecológico, particularmente por el servicio de polinización. Limitaciones en la disponibilidad de polinizadores o bajas tasas de visita floral pueden reducir la cantidad de polen de entrecruza disponible, afectando negativamente la producción y calidad de semillas (Meléndez, 2024). Este efecto impacta de manera más severa a las hembras, cuya reproducción depende

completamente del polen transportado por polinizadores (Lewis, 1941; Lloyd, 1974). Por lo tanto, la capacidad de las hembras para compensar su desventaja reproductiva está directamente influenciada por la dinámica de la polinización.

La especie de estudio, *Fuchsia microphylla* Kunth subsp. *microphylla*, perteneciente a la familia Onagraceae es un pequeño arbusto que se encuentra comúnmente en el sotobosque de bosques de *Pinus* y *Quercus* y los bosques nubosos que van desde México (en los estados de Jalisco e Hidalgo) hasta Centroamérica (en Costa Rica y Panamá) (Wagner y Hoch, 2005). Es una especie ginodioica, que presenta crecimiento clonal en ambos morfos florales (Trejo, 2019). El crecimiento clonal es una estrategia de propagación en la que un individuo (genet) produce múltiples módulos vegetativos (ramets) genéticamente idénticos (Renner y Ricklefs, 1995; Sakai et al., 1995). Este tipo de crecimiento es común en angiospermas y tiene importantes implicaciones ecológicas y reproductivas. El crecimiento clonal puede aumentar la capacidad de las plantas para adquirir y almacenar recursos, tener un incremento en el número de flores y mayor atracción de polinizadores (en hermafroditas) además de aumentar la colonización de áreas perturbadas (Eckert, 2001). Sin embargo, las implicaciones negativas para las hembras surgen cuando existe esta mayor producción de flores, porque influye en el comportamiento de los polinizadores. En plantas clonales, los polinizadores tienden a forrajear entre flores del mismo individuo, lo que reduce el movimiento de polen entre genets y, por tanto, limita la dispersión efectiva de polen entre los individuos de la población (Vallejo-Marín et al., 2010). En sistemas ginodioicos con crecimiento clonal, las restricciones en la dispersión de polen pueden tener efectos diferenciados entre sexos. La aglomeración de flores y el forrajeo local por parte de polinizadores en hermafroditas, puede conducir a la acumulación de polen en los estigmas y puede generar saturación, limitando la fecundación de óvulos disponibles y favoreciendo la endogamia (Lewis, 1941; Lloyd, 1975; Charlesworth y Charlesworth, 1978; Charlesworth y Charlesworth, 1987). Por otro lado, las hembras pueden experimentar limitación por polen (cantidad insuficiente de polen para fecundar los óvulos disponibles en la flor) debido a la baja transferencia de polen entre individuos, lo que reduce la disponibilidad de polen de entrecruza y su éxito reproductivo (Pérez, 2023; Meléndez, 2024). Es relevante señalar que, en esta circunstancia, los polinizadores forrajean principalmente en parches clonales donde las flores con polen abundan y se concentran (Vallejo-Marín et al., 2010). En conjunto, estos procesos sugieren que la interacción entre crecimiento clonal y polinización puede afectar de manera importante la calidad de las semillas producidas por hembras y hermafroditas. A pesar de la relevancia de estos procesos, aún es limitado el conocimiento sobre cómo las diferencias en la sexualidad de las plantas y las condiciones de polinización influyen en la calidad de las semillas en especies ginodioicas con crecimiento clonal. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar en condiciones controladas, la calidad de las semillas producidas por hembras y hermafroditas de *F. microphylla*. La calidad de las semillas se definió como su capacidad de germinar (viabilidad) y de producir plántulas capaces de establecerse (vigor), es decir, sobrevivir y crecer.

3 ANTECEDENTES

3.1 Ginodioicismo y mantenimiento de hembras

El ginodioicismo es un sistema reproductivo polimórfico caracterizado por la coexistencia de individuos hermafroditas y femeninos dentro de una misma población (Charlesworth, 2002; Zhang y Claßen-Bockhoff, 2019). Este sistema se ha documentado en al menos 543 especies pertenecientes a 178 géneros y 81 familias de angiospermas, lo que indica que ha evolucionado de manera independiente en numerosos linajes (Saur y Wade, 2003; Zhang y Claßen-Bockhoff, 2019). Una población se considera ginodioica cuando los individuos con esterilidad masculina representan al menos el 5 % de los individuos reproductivos (Valdeyron et al., 1973). La persistencia de este sistema depende de la coexistencia estable de ambos morfos sexuales; por ello, las hembras deben compensar la pérdida de la función masculina para evitar ser eliminadas de la población por la selección natural (Darwin, 1877; Lewis, 1941; Lloyd, 1975; Dufay y Billard, 2012).

La principal desventaja reproductiva de las hembras es la esterilidad masculina, que implica la ausencia de producción de polen y, por consiguiente, la pérdida completa de la contribución paterna a la adecuación. Ahora bien, la esterilidad masculina, como mecanismo de fecundación cruzada y rasgo habitual de las poblaciones naturales de especies, se presenta en la familia Onagraceae únicamente en el género *Fuchsia* (Raven, 1979). Además, las flores femeninas son en general menos atractivas para los polinizadores debido a que no ofrecen polen como recompensa, lo que puede reducir la frecuencia de visitas florales y generar limitación por polen (Zhang y Claßen-Bockhoff, 2019; Pérez, 2023; Meléndez, 2024). Como resultado, las hembras dependen totalmente del polen de otras plantas para fecundar sus óvulos y producir descendencia. (Asikainen y Mutikainen, 2005).

3.2 Compensación femenina

Los modelos clásicos sobre la evolución y mantenimiento de la ginodioecia predicen que las hembras deben presentar alguna ventaja reproductiva que compense la pérdida de la función masculina (Lewis, 1941; Charlesworth y Charlesworth, 1978; Charlesworth, 1981). Esta ventaja, conocida como compensación femenina, puede obtenerse a través de una mayor producción de semillas o mediante la producción de progenie de mayor calidad en relación con las hermafroditas (Delph et al., 2007; Dufay y Billard, 2012). Diversos estudios han demostrado que las hembras pueden producir más semillas, semillas de mayor tamaño o descendencia con mejores probabilidades de germinar, sobrevivir y crecer (Shykoff et al., 2003; Weller y Sakai, 2005; Keller y Schwägerle, 2006; Van der Meer et al., 2017; Trejo, 2019). Asimismo, un metanálisis realizado por Shykoff et al. (2003) concluyó que la compensación femenina constituye una tendencia generalizada en las especies ginodioicas.

Sin embargo, la magnitud de esta ventaja no es constante. La evidencia empírica indica que la compensación femenina puede variar considerablemente entre especies, entre poblaciones de una misma especie, e incluso entre diferentes temporadas reproductivas (Asikainen y Mutikainen, 2003; Dufay y Billard, 2012). Por ello, comprender los mecanismos que generan la variación en la compensación femenina constituye uno de los principales retos para explicar el mantenimiento ecológico de las hembras y la persistencia evolutiva de la ginodioecia (Dufay y Billard, 2012).

Planteamientos teóricos indican que en especies ginodioicas donde la esterilidad masculina tiene herencia nuclear (biparental), las hembras deben compensar (ventaja femenina) la pérdida de la producción de polen produciendo el doble de descendencia o descendencia de mayor calidad que los hermafroditas para mantenerse en la población. En contraste, cuando la esterilidad masculina tiene herencia citoplasmática (materna), las hembras solo requieren una pequeña compensación en la producción de semillas o en algún otro componente de adecuación de la progenie para persistir en la población (Lewis, 1941; Charlesworth, 1981).

3.3 Calidad de semillas como componente de la compensación femenina

Tradicionalmente, un mayor número de semillas producidas ha sido utilizada como una medida de la ventaja femenina en sistemas ginodioicos. No obstante, el número de semillas producidas no necesariamente refleja el éxito reproductivo real de una planta, ya que éste depende también de la capacidad de las semillas para germinar, establecerse y sobrevivir durante las primeras etapas del ciclo de vida (Barrett, 2015; Baskin y Baskin, 2020; Varga, 2021). Por esta razón, la calidad de las semillas representa un componente fundamental de la adecuación femenina y una medida más precisa de la compensación femenina (Van der Meer et al., 2017).

La calidad de las semillas puede evaluarse mediante diversos componentes relacionados con el desempeño temprano de la progenie, entre los que destacan la germinación, la supervivencia y el crecimiento temprano de las plántulas. Estudios realizados en especies ginodioicas como *Schiedea salicaria*, *Silene acaulis*, *Plantago coronopus*, *Sidalcea oregana*, *Eritrichium aretioides* y *Wurmbea biglandulosa*, han documentado que las semillas producidas por hembras suelen presentar mayores probabilidades de germinación que las producidas por hermafroditas (Ashman, 1992; Puterbaugh et al., 1997; Ramsey y Vaughton, 2002; Weller y Sakai, 2005; Keller y Schwägerle, 2006; Van der Meer et al., 2017). Un análisis comparativo de 56 estudios pertenecientes a nueve familias de plantas también encontró evidencia consistente con el patrón señalado (Varga, 2021).

En *F. microphylla*, Trejo (2019) encontró que las semillas producidas por hembras presentaron una tasa de germinación aproximadamente 1.6 veces superior a la observada en las semillas de hermafroditas. Resultados semejantes han sido reportados para otras especies

ginodioicas, aunque con magnitudes variables, lo que sugiere que la compensación femenina basada en la calidad de las semillas puede depender de factores ecológicos y poblacionales particulares.

La supervivencia y el crecimiento de la descendencia han sido evaluados con menor frecuencia. No obstante, estudios realizados en *S. acaulis* muestran que la progenie de hembras puede presentar mayores probabilidades de supervivencia que la de hermafroditas (Shykoff, 1988; Delph y Mutikainen, 2003). Asimismo, se ha documentado un crecimiento más rápido de las plántulas provenientes de hembras en especies como *S. oregana*, *S. acaulis* y *P. coronopus* (Ashman, 1992; Keller y Schwägerle, 2006; Van der Meer et al., 2017). A pesar de estos patrones, diversos autores coinciden en que la compensación femenina derivada de la calidad de las semillas suele ser de magnitud baja o moderada. En consecuencia, esta ventaja raramente explica por sí sola el mantenimiento de la ginodioecia, sino que generalmente actúa en conjunto con otros componentes del éxito reproductivo, particularmente la producción de semillas (Dufay y Billard, 2012; Varga, 2021).

3.4 Servicio de polinización y éxito reproductivo de las hembras

La compensación femenina que se requiere para la persistencia de las hembras en poblaciones ginodioicas, depende fuertemente de la eficiencia del servicio de polinización. Esto se debe a que las hembras carecen de función masculina, y dependen completamente de la llegada de polen de entrecruza para fecundar los óvulos disponibles y producir semillas (Ashman et al., 2000; Stone y Olson, 2018). En consecuencia, cualquier factor que reduzca la transferencia de polen puede afectar con mayor fuerza su éxito reproductivo, en contraste con lo que sucede con hermafroditas.

Diversos estudios han demostrado que los polinizadores suelen visitar con mayor frecuencia las flores hermafroditas que las femeninas (Stone y Olson, 2018; Meléndez, 2024). Esta preferencia puede estar relacionada con una mayor exhibición floral de los individuos hermafroditas y con la disponibilidad simultánea de néctar y polen como recompensas. Por el contrario, las flores femeninas sólo ofrecen néctar, lo que puede disminuir su atractivo para los visitantes florales (Meléndez, 2024). La reducción en la frecuencia de visitas y en la disponibilidad de polen compatible puede generar limitación por polen y disminuir la adecuación reproductiva de las hembras (Barrett, 2015; Stone y Olson, 2018).

3.5 Crecimiento clonal y sus consecuencias reproductivas

Además de la polinización, la reproducción sexual de las plantas puede verse influida por la propagación vegetativa. El crecimiento clonal constituye una de las formas más comunes de reproducción asexual en plantas y consiste en la producción de múltiples ramets

genéticamente idénticos a partir de un mismo individuo genético o genet (Klimeš et al., 1997; Dong et al., 2014) (Figura 1). El crecimiento clonal modifica tanto el tamaño como la distribución espacial de los individuos dentro de una población. Los clones grandes suelen producir una mayor cantidad de flores, incrementando su atractivo para los polinizadores. Sin embargo, la acumulación de flores también favorece que los polinizadores visiten repetidamente flores del mismo individuo, aumentando la probabilidad de geitonogamia (Widén y Widén, 1990; Charpentier, 2002). Como consecuencia, el crecimiento clonal puede alterar los patrones de transferencia de polen, restringir el flujo génico y afectar tanto la cantidad como la calidad de la descendencia producida (Vallejo-Marín et al., 2010; Barrett, 2015; Ren et al., 2024). En poblaciones ginodioicas, estos efectos pueden ser muy distintos e incluso contrarios entre morfos sexuales. Mientras que las hermafroditas pueden experimentar mayores niveles de autopolinización y endogamia, las hembras continúan dependiendo del polen procedente de otros individuos, por lo que son especialmente sensibles a cualquier reducción en la disponibilidad de polen compatible (Pérez, 2023; Meléndez, 2024).



Figura 1. Esquema de la propagación clonal de *F. microphylla*. (Trejo, 2019).

3.6 *Fuchsia microphylla* como modelo de estudio

F. microphylla pertenece a la familia Onagraceae; dicha familia comprende aproximadamente 22 géneros y alrededor de 650 especies distribuidas en casi todo el mundo, pero la mayor diversidad de especies se concentra en regiones templadas y subtropicales, especialmente del continente americano (Wagner, et al., 2007; Levin, et al., 2003). Está integrada principalmente por hierbas anuales y perennes, arbustos y con menor frecuencia árboles (Wagner, et al., 2007; Shawky, et al., 2021). Sus miembros se caracterizan por presentar hojas simples, generalmente opuestas o alternas, flores hermafroditas y vistosas. El fruto suele ser una cápsula, aunque en algunos géneros puede presentarse como baya, y las

semillas son numerosas y de tamaño pequeño (Wagner, et al., 2007; Miguel y Cerros, 2013). La familia se divide en las subfamilias Ludwigioideae y Onagroideae, esta última incluye al género *Fuchsia* (Wagner, et al., 2007; Levin, et al., 2003). Ahora bien, el género *Fuchsia* está dividido en 12 secciones, una de ellas es la sección *Encliandra*, donde está incluida *F. microphylla* (Wagner, et al. 2007). La sección contiene especies de bosques templados-fríos de pino-encino, desde el Sur del Trópico de Cáncer hasta Panamá, entre 1500 y 3400m de altitud (Wagner y Hoch, 2005; Wagner, et al. 2007).

F. microphylla constituye un sistema particularmente adecuado para estudiar la relación entre polinización, crecimiento clonal y compensación femenina. Se trata de un arbusto ginodioico ampliamente distribuido en bosques templados y templado-fríos de México y Centroamérica, entre los 1500 y 3400 m de altitud (Wagner y Hoch, 2005). Presenta crecimiento clonal, dimorfismo sexual floral y dependencia de polinizadores para la reproducción sexual (Pérez, 2023). Las flores de *F. microphylla* presentan diferencias morfológicas marcadas entre morfos sexuales (Figuras 2 y 3). Las flores hermafroditas poseen ocho estambres fértiles y estructuras florales de mayor tamaño, mientras que las flores femeninas carecen de anteras funcionales y son más pequeñas (Wagner y Hoch, 2005; Pérez, 2023). Aunque las especies del género *Fuchsia* en general se asocian con polinización por algunos colibríes, en *F. microphylla* los principales visitantes florales corresponden a diversas especies de himenópteros, particularmente abejorros (Berry et al., 2004; González et al., 2018; Meléndez, 2024).



Figura 2. Flores de *F. microphylla*. (a) Hermafroditas, (b) Hembras. (Pérez, 2023).



Figura 3. Dimorfismo sexual en *F. microphylla*. Las flores de hermafroditas son más grandes (arriba) que las flores de las hembras (abajo) (Trejo, 2019; Pérez, 2023).

Estudios previos realizados con esta especie han demostrado que las hembras pueden presentar ventajas en componentes tempranos del éxito reproductivo, particularmente en producción de semillas y en la germinación (Trejo, 2019). En *F. microphylla*, la polinización desempeña un papel fundamental en la fertilidad de los morfos sexuales, ya que las diferencias en la dinámica de visitas de los polinizadores se traducen en variaciones en el depósito de polen y en la producción de semillas. Aunque las hembras y los hermafroditas reciben un número similar de visitas florales, las flores hermafroditas son visitadas durante periodos más prolongados y reciben una mayor cantidad de polen en sus estigmas (Meléndez, 2024). Sin embargo, este mayor depósito de polen no se refleja en una mayor fecundidad, pues las hembras producen significativamente más semillas por fruto que los hermafroditas (Pérez, 2023). No obstante, la adecuación materna no depende únicamente de la cantidad de semillas producidas, sino también de su calidad. Por ello, resulta pertinente evaluar componentes posteriores de la fertilidad, como la supervivencia y el crecimiento de las plántulas derivadas de semillas producidas por hembras y hermafroditas, ya que tales atributos permiten determinar si las diferencias observadas en la producción de semillas se mantienen, se amplifican o se compensan durante las etapas tempranas del ciclo de vida.

4 OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar la calidad de las semillas producidas por plantas hembras y hermafroditas de *F. microphylla*, mediante experimentos en condiciones controladas que permitan monitorear la germinación, el crecimiento y la supervivencia de plántulas, con el fin de determinar si existe compensación femenina relacionada con estos componentes de adecuación femenina, y comprender el papel de la calidad de semillas en el mantenimiento de este sistema ginodioico.

4.2 ESPECÍFICOS

1. Evaluar si la progenie de hembras presenta mayor porcentaje de germinación y supervivencia que la de hermafroditas, mediante el monitoreo y análisis de semillas y plántulas, respectivamente, con el propósito de determinar si las hembras exhiben un mejor desempeño durante las etapas tempranas del desarrollo.
2. Determinar si el número de hojas y la longitud del tallo de las plántulas son mayores en la progenie de hembras que en la de hermafroditas, mediante un seguimiento y registro sistemático, con el propósito de evaluar si la progenie de hembras presenta un vigor superior al de la progenie de madres hermafroditas.

5 HIPÓTESIS GENERAL

En *F. microphylla*, las diferencias reproductivas entre hembras y hermafroditas, en interacción con las limitaciones del servicio de polinización asociadas al crecimiento clonal, generan variación en la calidad de las semillas, favoreciendo la compensación femenina mediante la producción de semillas de mayor calidad. Como consecuencia, las plantas hembras compensan la ausencia de la función masculina mediante la producción de semillas de mayor calidad que las producidas por los individuos hermafroditas.

5.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Las hembras presentan compensación reproductiva respecto a los hermafroditas mediante la producción de semillas de mayor calidad, debido a que son producto de entrecruza.

5.2 PREDICCIONES

- Las semillas producidas por hembras tendrán mayor porcentaje de germinación que las de hermafroditas.
- Las plántulas provenientes de semillas de hembras mostrarán un mayor porcentaje de supervivencia y un crecimiento mayor.
- Bajo condiciones controladas se minimizarán los efectos de la variación ambiental sobre la calidad de las semillas.

6 JUSTIFICACIÓN

En este trabajo se evalúa la calidad de las semillas de plantas hembras contra las semillas de plantas hermafroditas, de la planta ginodioica con crecimiento clonal *F. microphylla*. En particular, la evaluación de componentes de la calidad de la progenie, como germinación, supervivencia y crecimiento temprano (viabilidad y vigor), permite determinar si las plantas hembras presentan ventajas funcionales que compensen la pérdida de la función masculina. Además de aportar información importante para entender las repercusiones de la propagación vegetativa en la reproducción de plantas con diferente expresión sexual. En conjunto, los resultados de este trabajo contribuirán al entendimiento de la relación entre propagación vegetativa, servicio de polinización y calidad de la progenie, así como de su importancia en el mantenimiento de sistemas reproductivos polimórficos como el ginodioicismo.

7 MATERIAL Y MÉTODOS

7.1 Obtención de semillas para el experimento

El presente estudio se llevó a cabo con semillas de hembras y hermafroditas de la especie *F. microphylla* subsp. *microphylla* pertenecientes a frutos que se colectaron de una población de plantas en el Parque Nacional El Chico (Figura 4). En dicha población de plantas, se han realizado estudios previos sobre diversos aspectos de la ecología reproductiva de esta especie en los últimos seis años.

7.2 Área de estudio

El Parque Nacional El Chico (Figura 4) (decretado así en 1982) es un área protegida por su gran riqueza biológica, cuenta con una superficie de 2 739-02-63 ha. Está ubicado geográficamente en las coordenadas de los 20°10'10" a 20°13'25" latitud Norte y los 98°41'50" a 98°46'02" de longitud Oeste en el extremo Occidental de la Sierra de Pachuca (Capital del Estado de Hidalgo). Presenta altitudes que varían desde los 2320 msnm en la parte Norte hasta los 3090 msnm en la Parte Sur. El clima del Parque es templado-subhúmedo con una temperatura media anual que ronda entre los 12 y 18°C y una precipitación de 1479.5 mm anuales. Su flora está compuesta de 545 especies aproximadamente donde se incluye la especie de estudio (*F. microphylla*), mientras que su fauna se compone aproximadamente de 97 especies (CONANP, 2006).

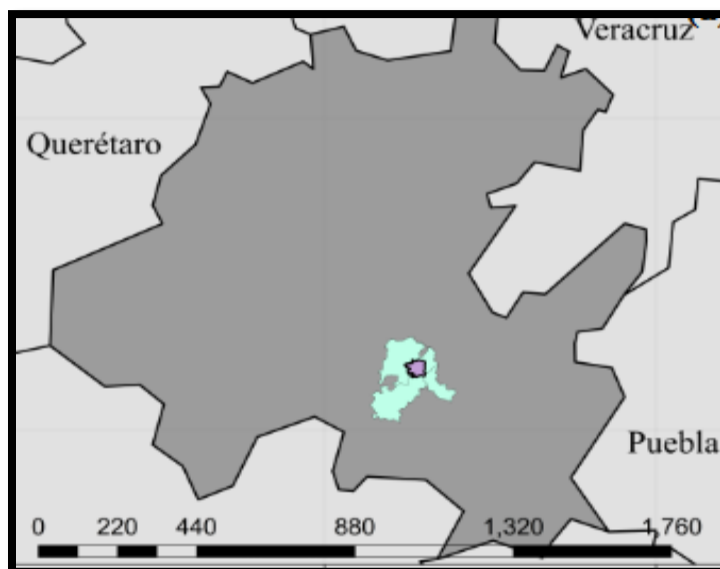


Figura 4. Parque Nacional El Chico ubicado en el estado de Hidalgo. (Lezama-Estrada, 2018).

7.3 Evaluación de la calidad de las semillas

7.3.1 Ensayos preliminares de germinación

Previo al inicio del experimento, se realizaron ensayos preliminares para establecer las condiciones óptimas para la germinación de las semillas en una cámara de crecimiento de plantas en ambiente controlado. La finalidad de dichos ensayos fue explorar las condiciones en las que las semillas germinan normalmente. Una vez definidas dichas condiciones, se llevó a cabo el experimento.

7.3.2 Diseño del experimento

Se trabajó con un total de 1045 semillas, provenientes de 100 frutos (50 por cada morfo) recolectados de 18 plantas. Inicialmente, las semillas fueron hidratadas con agua destilada en microtubos durante 90 minutos, con la finalidad de favorecer la ruptura de la testa y facilitar el proceso de germinación (Figura 5a). Posteriormente, se prepararon dos charolas de germinación, con capacidad de 50 pozos individuales cada una, utilizando un sustrato compuesto por tierra negra (50%), peat-moss (30%) y tezontle (20%). Las charolas fueron debidamente rotuladas para mantener la identidad de las semillas. Cada pozo recibió las semillas correspondientes a un único fruto, y la asignación de los frutos a los pozos se realizó de manera aleatoria, incluyendo individuos de ambos morfos en ambas charolas.

7.3.3 Germinación

Una vez que se sembraron las semillas, las charolas fueron colocadas en una cámara de germinación (Lumistell® Mod. ICP-55) bajo condiciones controladas, con ciclos de luz y oscuridad, humedad relativa aproximada de 70% y temperatura de 22°C durante el periodo de luz y 18°C durante el periodo de oscuridad (Trejo, 2019; Meléndez, 2024). El riego se realizó cada 2 días mediante atomización, con el fin de evitar la compactación del sustrato por exceso de agua. El número de semillas germinadas se registró a lo largo de seis semanas, mediante censos semanales.

7.3.4 Supervivencia

Para la evaluación de la supervivencia de la progenie, las plántulas germinadas fueron trasplantadas a tres charolas de crecimiento previamente preparadas con el mismo sustrato descrito anteriormente. En esta etapa, cada plántula fue colocada de manera individual en un pozo, manteniendo su identidad. Para poder realizar este proceso, se extrajeron cuidadosamente las plántulas de cada pozo, y con ayuda de agua y pinzas, se separaron las raíces entrelazadas, procurando minimizar el daño durante el proceso (Figura 5a).



Figura 5a. Proceso de germinación y trasplante de plántulas, a) Semillas en hidratación, b) Charola de germinación con sustrato, c) Comienzo de la germinación, d) Plántulas retiradas de un pozo individual, e) Plántula lista para trasplantar y f) Selección de un pozo individual aleatorio.

Posteriormente, las plántulas fueron reintroducidas en la cámara de germinación bajo las mismas condiciones descritas previamente. El riego se realizó cada dos días, mediante el suministro de agua en una charola metálica colocada debajo de las charolas de crecimiento, permitiendo así la absorción de agua. El registro de la supervivencia de las plántulas comenzó una vez concluido el periodo de germinación, cuando cada plántula había sido trasplantada de manera individual. A partir de ese momento, el monitoreo se realizó semanalmente durante diez semanas.

7.3.5 Crecimiento

El crecimiento de las plántulas se evaluó mediante la medición de dos variables: la altura y el número de hojas por individuo. La altura, expresada en centímetros, se determinó utilizando una regla, midiendo el tallo de cada plántula. En cuanto al número de hojas, se realizó un conteo manual considerando la disposición morfológica de las mismas. Para ello,

con ayuda de pinzas, se separaron cuidadosamente aquellas hojas que estaban superpuestas, evitando causar daño a las plántulas (Figura 5b). Ambas variables de crecimiento se registraron en un periodo de diez semanas, coincidiendo con el intervalo de evaluación de la supervivencia. Los registros se realizaron semanalmente.



Figura 5b. Trasplante y crecimiento de plántulas, g) Trasplante de una plántula, h) Plántulas en periodo de crecimiento, i) Altura de las plántulas y j) Hojas de una plántula.

7.4 Análisis estadístico de los datos

Una vez que se obtuvieron los datos de las tres variables de calidad de las semillas (germinación, supervivencia y crecimiento), se calculó el porcentaje de germinación, de supervivencia y la media en el crecimiento. Estas variables se estimaron para los individuos provenientes de plantas de ambos morfos (hembras y hermafroditas), con el objetivo de comparar su desempeño y evaluar la existencia de diferencias significativas entre ellas. Los análisis estadísticos se realizaron mediante pruebas de contraste entre dos grupos (prueba t de Student) utilizando el programa JMP versión 4.04, SAS, 2001.

8 RESULTADOS

8.1 Germinación de las semillas

Los ensayos de germinación realizados mostraron que las semillas producidas por hembras y hermafroditas de *F. microphylla* presentaron porcentajes de germinación similares. Durante el periodo de monitoreo, la germinación de las semillas viables provenientes de hembras concluyó en la cuarta semana, mientras que la de las semillas provenientes de hermafroditas se extendió hasta la quinta semana. Después de estos periodos no se registraron nuevos eventos de germinación en ninguno de los morfos.

En total se sembraron 1,045 semillas, de las cuales germinaron 183, lo que representa un porcentaje de germinación del 18%. De las 603 semillas provenientes de hembras, germinaron el 15%, mientras que de las 442 semillas provenientes de hermafroditas germinaron el 21% (Tabla 1; Figura 6).

Aunque las semillas de hermafroditas presentaron un porcentaje de germinación superior al observado en las semillas de hembras, el análisis estadístico indicó que estas diferencias no fueron significativas ($t = 1.52$, $p = 0.13$). Por lo tanto, la capacidad de germinación fue similar entre las plántulas de ambos morfos florales.

Tabla 1. Germinación de las semillas de ambos morfos florales.

Morfo	Semillas sembradas	Semillas Germinadas	Porcentaje de germinación
Hermafroditas	442	92	21%
Hembras	603	91	15%
Total	1045	183	18%

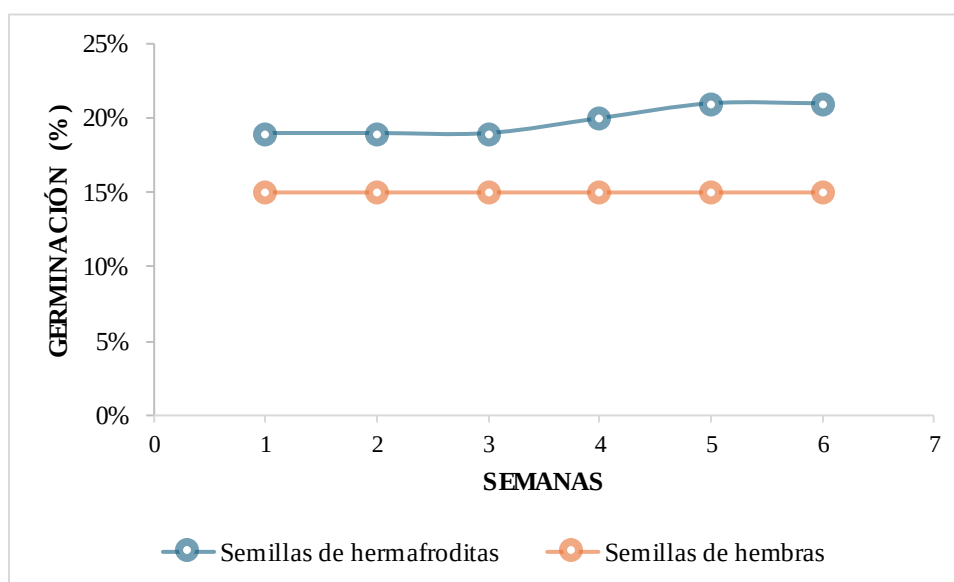


Figura 6. Germinación de semillas de hembras y hermafroditas de *F. microphylla* en un periodo de 6 semanas.

8.2 Supervivencia de las plántulas

Para la evaluación de la supervivencia, se trasplantaron individualmente 128 plántulas, de las cuales 56 provenían de hermafroditas y 72 de hembras. Después de diez semanas de seguimiento, sobrevivieron 52 plántulas de hermafroditas y 59 de hembras, lo que corresponde a porcentajes de supervivencia del 93% y 82%, respectivamente (Tabla 2; Figura 7). A pesar de que las plántulas provenientes de hermafroditas mostraron un porcentaje mayor, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre ambos morfos ($t = -1.60$, $p = 0.12$). En general, las plántulas de ambos tipos de plantas maternas exhibieron niveles elevados de supervivencia durante las primeras etapas de desarrollo.

Tabla 2. Supervivencia de las plántulas de ambos morfos florales.

Morfo	Plántulas trasplantadas	Plántulas que sobrevivieron	Porcentaje de supervivencia
Hermafroditas	56	52	93%
Hembras	72	59	82%
Total	128	111	87%

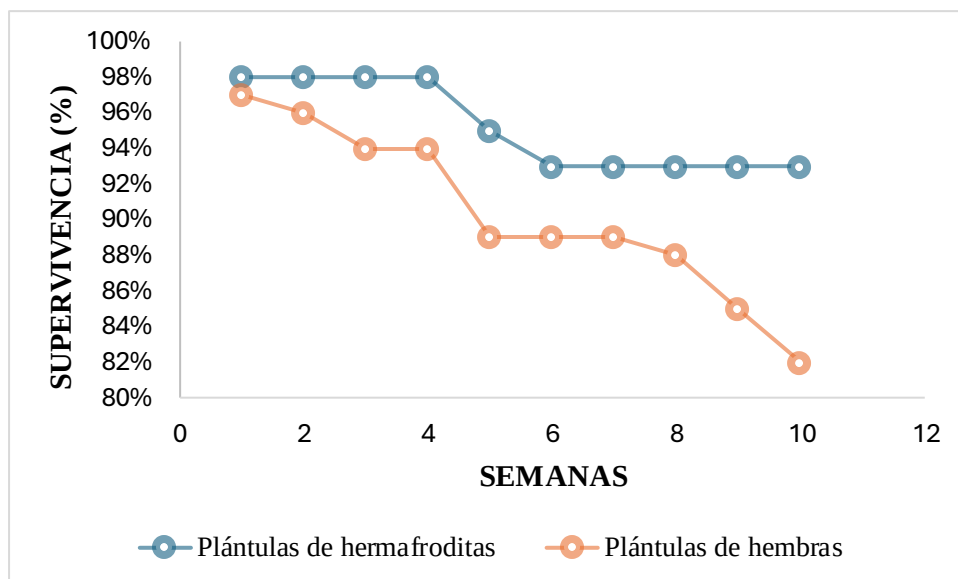


Figura 7. Porcentaje de supervivencia de las plántulas de hembras y hermafroditas de *F. microphylla* en un periodo de 10 semanas.

8.3 Crecimiento de las plántulas

El crecimiento de las plántulas se evaluó mediante el número de hojas por individuo y la longitud del tallo. Ambas variables fueron registradas semanalmente durante diez semanas en un total de 111 plántulas sobrevivientes. Al inicio del periodo de evaluación (una vez concluido el periodo de germinación), bajo condiciones controladas, las plántulas provenientes de hembras y hermafroditas presentaron valores similares en el número promedio de hojas, con aproximadamente 14 hojas por plántula. En cuanto a la longitud del tallo, se observó que las plántulas de hembras mostraron inicialmente valores 8% mayores en comparación con las plántulas de hermafroditas.

Conforme avanzó el periodo de monitoreo, las plántulas provenientes de hermafroditas mostraron una tendencia de crecimiento en el tallo y un mayor número de hojas. Esta tendencia se mantuvo hasta el final de la evaluación, cuando las plántulas de hermafroditas presentaron 14% más hojas por individuo y una longitud del tallo 16% mayor que las plántulas de hembras (Tabla 3; Figura 8). A pesar de las diferencias numéricas observadas, los análisis estadísticos indican que no existen diferencias significativas entre los morfos para ninguna de las variables evaluadas. El número de hojas por plántula fue semejante entre hermafroditas y hembras ($t = 1.3$, $p = 0.19$), al igual que la longitud del tallo ($t = 1.5$, $p = 0.12$). En conjunto, estos resultados de crecimiento sugieren que las plántulas provenientes de ambos morfos presentan un desempeño similar durante las etapas tempranas del desarrollo.

Tabla 3. Crecimiento de las plántulas de ambos morfos florales.

Morfo	Plántulas censadas	#de hojas por plántula en promedio	Longitud del tallo en promedio
Hermafroditas	52	88	3.6cm
Hembras	59	77	3.1cm

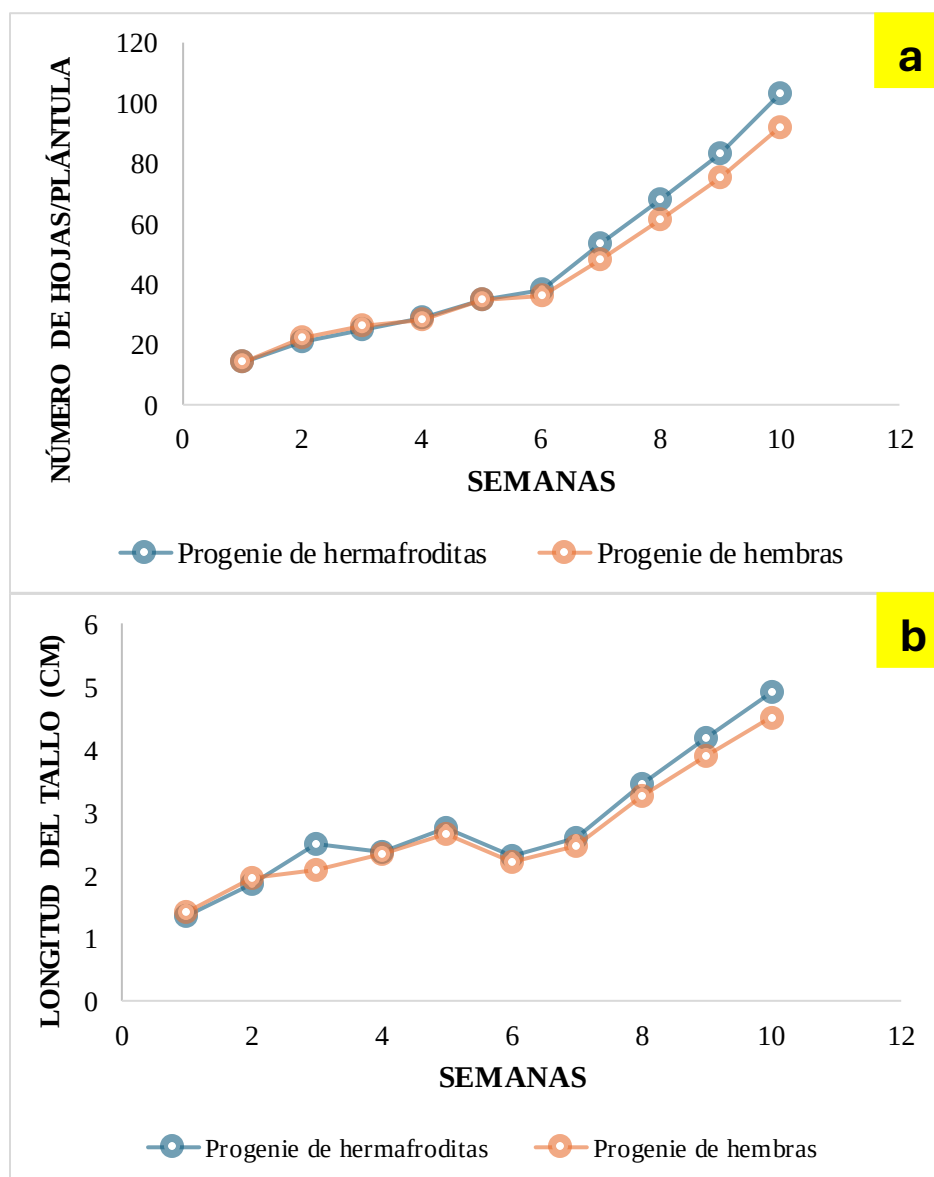


Figura 8. Crecimiento de las plántulas de hembras y hermafroditas de *F. microphylla* en un periodo de 10 semanas. (a) Número de hojas por plántula y (b) Longitud de los tallos de las plántulas.

9 DISCUSIÓN

9.1 Calidad de las semillas y compensación femenina

Los resultados muestran que ninguno de los componentes evaluados (germinación, supervivencia y crecimiento) difirió significativamente entre progenies de hembras y hermafroditas. En conjunto, estos hallazgos indican que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, las semillas producidas por ambos morfos presentan una viabilidad y vigor similar. Por lo tanto, la posible compensación femenina en *F. microphylla* no parece expresarse a través de una mayor calidad de las semillas durante las primeras etapas del ciclo de vida. Este patrón coincide con lo reportado en diversas especies ginodioicas, donde las diferencias entre morfos sexuales son inexistentes o débiles durante las etapas tempranas de desarrollo (Asikainen y Mutikainen, 2003; Cuevas et al., 2014; Varga, 2021). En consecuencia, los resultados sugieren que cuando existe la ventaja femenina, podría expresarse en otros componentes de la adecuación, como la producción de frutos y semillas, el desempeño reproductivo en etapas posteriores o la capacidad de establecimiento en condiciones naturales.

9.2 Germinación

La germinación constituye uno de los principales componentes de la calidad de las semillas y determina el inicio exitoso del ciclo de vida de una planta. Aunque en este estudio se observaron ligeras diferencias entre morfos, éstas no fueron estadísticamente significativas. Este resultado coincide con lo documentado en *F. microphylla* por Cuevas et al. (2014) y en otras especies ginodioicas como *S. acaulis* y *Geranium sylvaticum* (Shykoff, 1988; Asikainen y Mutikainen, 2003), donde la ventaja femenina no se expresó a través de mayores porcentajes de germinación. Sin embargo, estudios previos realizados con la misma especie reportaron una mayor germinación de semillas producidas por hembras (Trejo, 2019). La discrepancia entre ambos resultados sugiere que este componente puede variar temporalmente y responder a factores ecológicos que afectan la calidad de las semillas producidas en diferentes años o poblaciones.

Diversos trabajos han señalado que la disponibilidad de polinizadores, la cantidad de polen recibido y la proporción de polen de entrecruza pueden modificar la calidad de la descendencia (Ashman et al., 2004; Aizen y Harder, 2007). En *F. microphylla*, se ha documentado que las hembras pueden experimentar limitación por polen debido a una menor frecuencia de visitas de polinizadores en comparación con las hermafroditas (Pérez, 2023; Meléndez, 2024). Bajo este escenario, las variaciones en la calidad del servicio de polinización podrían traducirse en diferencias temporales en la germinación de las semillas.

Aun cuando la literatura muestra numerosos casos donde las hembras presentan porcentajes de germinación superiores a los de las hermafroditas (Weller y Sakai, 2005; Keller y Schwägerle, 2006; Varga, 2021), los resultados obtenidos indican que esta ventaja no constituye una característica constante de los sistemas ginodioicos, sino que puede depender de condiciones ecológicas particulares.

9.3 Supervivencia de plántulas

La supervivencia representa un componente fundamental de la adecuación femenina, ya que determina el porcentaje de semillas que logran establecerse como plantas viables. En este trabajo se documentó que la probabilidad de supervivencia fue alta y semejante entre progenies de hembras y hermafroditas, lo que indica que ambos morfos producen descendencia con capacidades similares para persistir durante las primeras etapas de desarrollo. Estos resultados coinciden con los obtenidos previamente para *F. microphylla* (Trejo, 2019) y con lo reportado para *G. sylvaticum* (Asikainen y Mutikainen, 2003). No obstante, contrastan con estudios realizados en *S. acaulis*, donde la progenie de las hembras presentó mayores probabilidades de supervivencia que la de las hermafroditas (Shykoff, 1988; Delph y Mutikainen, 2003). Aunque las plántulas de las hermafroditas mostraron una tendencia hacia una mayor supervivencia, dicha diferencia no fue suficiente para alcanzar significancia estadística. Este resultado coincide con el metanálisis de Varga (2021), quien concluyó que la ventaja femenina en supervivencia de plántulas no constituye un patrón generalizado en las especies ginodioicas.

En conjunto, la evidencia disponible sugiere que la supervivencia temprana es un componente altamente variable entre especies, poblaciones y años de estudio. Esta variabilidad probablemente refleja la influencia de factores ambientales, genéticos y demográficos que actúan sobre la calidad de la descendencia y que aún requieren mayor investigación.

9.4 Crecimiento temprano

El crecimiento de las plántulas constituye otro indicador importante de calidad, debido a que puede influir sobre la capacidad competitiva y la probabilidad de establecimiento futuro de las plántulas. En este trabajo, tanto el número de hojas como la longitud del tallo fueron similares entre progenies de hembras y hermafroditas, lo que indica que ambos morfos generan plántulas con tasas de crecimiento semejantes durante las etapas iniciales del desarrollo. Este resultado concuerda con estudios realizados en distintas especies ginodioicas, donde no se han detectado diferencias en el vigor temprano entre morfos sexuales (Shykoff, 1988; Alonso y Herrera, 2001; Cuevas et al., 2014). Sin embargo, otros trabajos han encontrado ventajas significativas para la progenie de hembras, incluyendo

investigaciones previas en *F. microphylla* (Trejo, 2019) y en *S. acaulis* (Keller y Schwägerle, 2006).

La falta de diferencias observada en este estudio podría explicarse porque las ventajas asociadas a la calidad de la descendencia no siempre son evidentes durante las primeras fases del desarrollo. Diversos autores han propuesto que tales diferencias pueden manifestarse en etapas posteriores del ciclo de vida o bajo condiciones ambientales estresantes, cuando la disponibilidad de recursos limita el crecimiento y la supervivencia de los individuos (Varga, 2021).

9.5 Factores ecológicos asociados con la variación en la calidad de la progenie

La comparación de los resultados obtenidos con los reportados previamente para *F. microphylla* y otras especies ginodioicas pone de manifiesto que la expresión de la ventaja femenina es altamente variable. Esta variación probablemente refleja la influencia de diversos factores ecológicos y evolutivos que afectan la producción y calidad de las semillas. En el ámbito teórico, las plantas hermafroditas pueden experimentar depresión por endogamia debido a la autofecundación o a cruzamientos entre individuos emparentados, lo que podría reducir el desempeño de su descendencia (Lewis, 1941; Lloyd, 1975; Charlesworth y Charlesworth, 1987). En contraste, las hembras dependen completamente del polen procedente de otros individuos y, por ello, podrían generar semillas con una mayor proporción de entrecruza y menor carga genética asociada a la endogamia. No obstante, las posibles ventajas derivadas de la entrecruza pueden verse limitadas por factores ecológicos. Uno de los más importantes es el servicio de polinización. En las plantas ginodioicas, la cantidad y calidad del polen transferido por los polinizadores influyen directamente sobre la fertilidad y el desempeño de la progenie (Herrera, 2000; Gómez et al., 2010). Estudios recientes en *F. microphylla* han mostrado que los polinizadores visitan con mayor frecuencia las flores hermafroditas que las femeninas (Meléndez, 2024), situación que podría generar limitación por polen en las hembras y afectar la calidad de las semillas producidas.

Asimismo, el crecimiento clonal puede modificar la estructura espacial de las poblaciones y alterar los patrones de movimiento de los polinizadores, favoreciendo cruzamientos entre individuos cercanos y modificando la calidad genética de la descendencia (Vallejo-Marín et al., 2010; Barrett, 2015). Aunque los resultados de este estudio no muestran diferencias entre morfos en condiciones controladas, esto no descarta que dichas diferencias puedan manifestarse en ambientes naturales. En otros estudios se ha demostrado que las condiciones experimentales reducen la variabilidad ambiental y controlan factores como la disponibilidad de recursos, la competencia, el estrés ambiental y las interacciones bióticas, mientras que en la naturaleza estos factores interactúan de manera simultánea y pueden modificar el éxito reproductivo de las plantas (Poorter, et al., 2016; Schwinning, et al., 2022).

En el futuro es recomendable evaluar etapas posteriores del ciclo de vida y analizar simultáneamente los efectos de la polinización, la estructura espacial de las poblaciones y las condiciones ambientales, con el fin de comprender de manera integral los mecanismos ecológicos y evolutivos que mantienen la ginodioecia en *F. microphylla*.

10 CONCLUSIONES

-La calidad de las semillas de *F. microphylla*, evaluada mediante germinación, supervivencia y crecimiento temprano de las plántulas, no difirió significativamente entre plantas hembras y hermafroditas.

-Los resultados indican que la posible compensación femenina necesaria para el mantenimiento del ginodioicismo no se expresa a través de una mayor calidad de las semillas durante las etapas tempranas del ciclo de vida en condiciones controladas.

-La comparación con estudios previos de la misma especie evidencia una importante variación temporal en los patrones de germinación, supervivencia y crecimiento, lo que sugiere que la calidad de las semillas está influenciada por factores ecológicos y demográficos que pueden cambiar entre poblaciones y años reproductivos.

11 BIBLIOGRAFÍA

Aizen, M. A., y Harder, L. D. (2007). Expanding the limits of the pollen-limitation concept: Effects of pollen quantity and quality. *Ecology*, 88(2), 271–281. <https://doi.org/10.1890/06-1017>

Alonso, C., y Herrera, C. M. (2001). Neither vegetative nor reproductive advantages account for high frequency of male-steriles in southern Spanish gynodioecious *Daphne laureola* (Thymelaeaceae). *American Journal of Botany*, 88(6), 1016–1024. <https://doi.org/10.2307/2657083>

Ashman, T. L. (1992). The relative importance of inbreeding and maternal sex in determining progeny fitness in *Sidalcea oregana ssp. spicata*, a gynodioecious plant. *Evolution*, 46(6), 1862–1874. <https://doi.org/10.2307/2410036>

Ashman, T. L., Swetz, J., y Shivitz, S. (2000). Understanding the basis of pollinator selectivity in sexually dimorphic *Fragaria virginiana*. *Oikos*, 90(2), 347–356. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.900216.x>

Ashman, T. L., Knight, T. M., Steets, J. A., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D. R., Dudash, M. R., Johnston, M. O., Mazer, S. J., Mitchell, R. J., Morgan, M. T., y Wilson, W. G. (2004). Pollen limitation of plant reproduction: Ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology*, 85(9), 2408–2421. <https://doi.org/10.1890/03-8024>

Asikainen, E. y Mutikainen, P. (2003). Female frequency and relative fitness of females and hermaphrodites in gynodioecious *Geranium sylvaticum* (Geraniaceae). *American Journal of Botany*, 90(2), 226–234. <https://doi.org/10.3732/ajb.90.2.226>

Asikainen, E. y Mutikainen, P. (2005). Pollen and resource limitation in a gynodioecious species. *American Journal of Botany*, 92(3), 487–494. <https://doi.org/10.3732/ajb.92.3.487>

Barrett, S. C. H. (2002). The evolution of plant sexual diversity. *Nature Reviews Genetics*, 3(4):274–284. <https://doi.org/10.1038/nrg776>

Barrett, S. C. H. (2015). Influences of clonality on plant sexual reproduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(29), 8859–8866. <https://doi.org/10.1073/pnas.1501712112>

Baskin, J. M., y Baskin, C. C. (2020). Seed germination of gynodioecious species: Theoretical considerations and a comparison of females and hermaphrodites. *Planta*, 252, 73. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03472-5>

Berry, P. E., Hahn, W. J., Sytsma, K. J., Hall, J. C., y Mast, A. (2004). Phylogenetic relationships and biogeography of *Fuchsia* (Onagraceae) based on noncoding nuclear and chloroplast DNA data. *American Journal of Botany*, 91(4), 601–614. <https://doi.org/10.3732/ajb.91.4.601>

- Charlesworth, B. y Charlesworth, D. (1978). A model for the evolution of dioecy and gynodioecy. *The American Naturalist*, 112(988), 975–997. <http://www.jstor.org/stable/2460344>
- Charlesworth, D. (1981). A further study of the problem of the maintenance of females in gynodioecious species. *Heredity*, 46, 27–39. <https://doi.org/10.1038/hdy.1981.3>
- Charlesworth, D. y Charlesworth, B. (1987). Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18, 237–268. <http://www.jstor.org/stable/2097132>
- Charlesworth, D. (2002). Plant sex determination and sex chromosomes. *Heredity*, 88, 94–101. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800016>
- Charpentier, A. (2002). Consequences of clonal growth for plant mating. *Evolutionary Ecology*, 15, 521–530. <https://doi.org/10.1023/A:1016057503722>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2006). *Programa de conservación y manejo Parque Nacional El Chico*. Dirección General de manejo para la conservación.
- Cuevas, E., Jiménez, R., y Lopezaraiza-Mikel, M. (2014). Sex-specific reproductive components and pollination ecology in the subdioecious shrub *Fuchsia microphylla*. *Plant Biology*, 16(6), 1096–1103. <https://doi.org/10.1111/plb.12161>
- Darwin, C. (1877). *The different forms of flowers on plants of the same species*.
- Delph, L. F. y Mutikainen, P. (2003). Testing why the sex of the maternal parent affects seedling survival in a gynodioecious species. *Evolution*, 57(2), 231–239. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2003.tb00258.x>
- Delph, L. F., Touzet, P., y Bailey, M. F. (2007). Merging theory and mechanism in studies of gynodioecy. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.013>
- Dong, M., Yu, F. H., y Alpert, P. (2014). Ecological consequences of plant clonality. *Annals of Botany*, 114(2), 367. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu137>
- Dufay, M., y Billard, E. (2012). How much better are females? The occurrence, magnitude and causes of female advantage in gynodioecious species. *Annals of Botany*, 109(3), 505–519. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr062>
- Eckert, C. G. (2001). The loss of sex in clonal plants. *Evolutionary Ecology*, 15, 501–520. <https://doi.org/10.1023/A:1016005519651>

- Gómez, J. M., Abdelaziz, M., Lorite, J., Muñoz-Pajares, A. J., y Perfectti, F. (2010). Changes in pollinator fauna cause spatial variation in pollen limitation. *Journal of Ecology*, 98(5), 1243–1252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01691.x>
- González, C., Álvarez-Baños, A., y Cuevas-García, E. (2018). Floral biology and pollination mechanisms of four Mexico-endemic *Fuchsia* species with contrasting reproductive systems. *Journal of Plant Ecology*, 11(1), 123-135. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw118>
- Herrera, C. M. (2000). Measuring the effects of pollinators and herbivores: Evidence for non-additivity in a perennial herb. *Ecology*, 81(8), 2170–2176. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[2170:MTEOPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[2170:MTEOPA]2.0.CO;2)
- Kalin, M. T., y Raven, P. H. (1975). The evolution of subdioecy in morphologically gynodioecious species of *Fuchsia* sect. *Encliandra* (Onagraceae). *Evolution*, 29, 500-511.
- Keller, S. R., y Schwaegerle, K. E. (2006). Maternal sex and mate relatedness affect offspring quality in the gynodioecious *Silene acaulis*. *Journal of Evolutionary Biology*, 19(4), 1128–1138. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2006.01101.x>
- Klimeš, L., Klimešová, J., Hendriks, R., y van Groenendael, J. (1997). Clonal plant architecture: A comparative analysis of form and function. En H. de Kroon y J. van Groenendael (Eds.), *The ecology and evolution of clonal plants* (pp. 1–29). Backhuys Publishers.
- Levin, R. A., Wagner, W. L., Hoch, P. C., Nepokroeff, M., Pires, J. C., Zimmer, E. A., y Sytsma, K. J. (2003). Family-level relationships of Onagraceae based on chloroplast *rbcL* and *ndhF* data. *American Journal of Botany*, 90(1), 107-115. <https://doi.org/10.3732/ajb.90.1.107>
- Lewis, D. (1941). Male sterility in natural populations of hermaphrodite plants. The equilibrium between females and hermaphrodites to be expected with different types of inheritance. *The New Phytologist*, 40(1), 56–63. <http://www.jstor.org/stable/2428879>
- Lezama-Estrada, E. (2018). *Diversidad de sistemas reproductivos en angiospermas: un estudio de la frecuencia y la adecuación femenina de machos fructíferos en poblaciones subdioicas de Jacaratia mexicana A. DC. (Caricaceae)*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2337>
- Lloyd, D. G. (1974). Theoretical sex ratios of dioecious and gynodioecious angiosperms. *Heredity*, 32, 11–34. <https://doi.org/10.1038/hdy.1974.2>
- Lloyd, D. G. (1975). The maintenance of gynodioecy and androdioecy in angiosperms. *Genetica*, 45, 325–339. <https://doi.org/10.1007/BF01508307>

- Maurice, S., y Flemming, T. H. (1995). The effect of pollen limitation on plant reproductive systems and the maintenance of sexual polymorphisms. *Oikos*, 74(1), 55-60. <https://doi.org/10.2307/3545674>
- McCauley, D. E., y Taylor, D. R. (1997). Local population structure and sex ratio: Evolution in gynodioecious plants. *The American Naturalist*, 150(3), 406-419. <https://doi.org/10.1086/286072>
- Meléndez, D. A. (2024). *Polinización y eficiencia en la producción de frutos en la planta clonal ginodioica Fuchsia microphylla*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/5543>
- Miguel, M. S., y Cerros, R. (2013). Onagraceae de Morelos, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4), 1309-1315. <https://doi.org/10.7550/rmb.24854>
- Pérez, P. (2023). *Asimetría en limitación por polen y en fecundidad de hembras y hermafroditas de la planta ginodioica y clonal Fuchsia microphylla Kunth (Onagraceae)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/3161>
- Poorter, H., Fiorani, F., Pieruschka, R., Wojciechowski, T., van der Putten, W. H., Kleyer, M., Schurr, U., y Postma, J. (2016). Pampered inside, pestered outside? Differences and similarities between plants growing in controlled conditions and in the field. *New Phytologist*, 212(4), 838-855. <https://doi.org/10.1111/nph.14243>
- Puterbaugh, M. N., Wied, A., y Galen, C. (1997). The functional ecology of gynodioecy in *Eritrichum aretioides* (Boraginaceae), the alpine forget-me-not. *American Journal of Botany*, 84(3), 393-400. <https://doi.org/10.2307/2446012>
- Ramsey, M., y Vaughton, G. (2002). Maintenance of gynodioecy in *Wurmbea biglandulosa* (Colchicaceae): Gender differences in seed production and progeny success. *Plant Systematics and Evolution*, 232, 189–200. <https://doi.org/10.1007/s006060200042>
- Raven, P. H. (1979). A survey of reproductive biology in Onagraceae. *New Zealand Journal of Botany*, 17(4), 575-593. <https://doi.org/10.1080/0028825X.1979.10432572>
- Ren, D., Jiao, F., Zhang, A., Zhao, J., y Zhang, J. (2024). Floral morph variation mediated by clonal growth and pollinator functional groups of *Limonium otolepis* in a heterostylous fragmented population. *AoB Plants*, 16(2), plae020. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plae020>
- Renner, S. S., y Ricklefs, R. E. (1995). Dioecy and its correlates in the flowering plants. *American Journal of Botany*, 82(5), 596-606. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1995.tb11504.x>
- Richards, A. J. (1986). *Plant breeding systems*. Cambridge University Press.

- Sakai, A., Wagner, W. L., Ferguson, D. M., y Herbst, D. R. (1995). Origins of dioecy in the Hawaiian flora. *Ecology*, 76(8), 2517–2529. <https://doi.org/10.2307/2265825>
- Saur Jacobs, M., y Wade, M. J. (2003). A synthetic review of the theory of gynodioecy. *The American Naturalist*, 161(6), 837-851. <https://doi.org/10.1086/375174>
- Schemske, D. W., y Lande, R. (1985). The evolution of self-fertilization and inbreeding depression in plants. II. Empirical observations. *Evolution*, 39(1), 41-52. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1985.tb04078.x>
- Schwinning, S., Lortie, C. J., Esque, T. C., y DeFalco, L. A. (2022). What common-garden experiments tell us about climate responses in plants. *Journal of Ecology*, 110(5), 986-996. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13887>
- Shawky, E. M., Elgindi, M. R., Ibrahim, H. A., y Baky, M. H. (2021). The potential and outgoing trends in traditional, phytochemical, economical, and ethnopharmacological importance of family Onagraceae: A comprehensive review. *Journal of Ethnopharmacology*, 281, 114450. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114450>
- Shykoff, J. A. (1988). Maintenance of gynodioecy in *Silene acaulis* (Caryophyllaceae): Stage-specific fecundity and viability selection. *American Journal of Botany*, 75(6), 844-850. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1988.tb13507.x>
- Shykoff, J. A. (1992). Sex polymorphism in *Silene acaulis* (Caryophyllaceae) and the possible role of sexual selection in maintaining females. *American Journal of Botany*, 79(2), 138–143. <https://doi.org/10.2307/2445100>
- Shykoff, J. A., Kolokotronis, S. O., Collin, C. L., y López-Villavicencio, M. (2003). Effects of male sterility on reproductive traits in gynodioecious plants: A meta-analysis. *Oecologia*, 135, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1133-z>
- Stone, J. D., y Olson, M. S. (2018). Pollination context alters female advantage in gynodioecious *Silene vulgaris*. *Journal of Evolutionary Biology*, 31(1), 111-122. <https://doi.org/10.1111/jeb.13203>
- Trejo, O. (2019). *Consecuencias de la propagación clonal y del género en el número de semillas por fruto y su viabilidad en la planta ginodioica Fuchsia microphylla Kunth (Onagraceae)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2234>
- Valdeyron, G., Dommée, B., y Valdeyron, A. (1973). Gynodioecy: Another computer simulation model. *The American Naturalist*, 107(955), 454–459. <http://www.jstor.org/stable/2459545>

- Vallejo-Marín, M., Dorken, M. E., y Barrett, S. C. H. (2010). The ecological and evolutionary consequences of clonality for plant mating. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41, 193–213. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120258>
- Van der Meer, S., Sebrechts, T., Vanderstraeten, S., y Jacquemyn, H. (2017). The female advantage in natural populations of gynodioecious *Plantago coronopus*: Seed quantity vs. offspring quality. *Oecologia*, 185, 653-662. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3981-6>
- Varga, S. (2021). Female advantage in gynodioecious plants: A meta-analysis focused on seed quality. *Plant Biology*, 23(5), 695-701. <https://doi.org/10.1111/plb.13295>
- Wagner, W. L., y Hoch, P. C. (2005). *Onagraceae, The evening primrose family website*. Smithsonian Institution. <http://botany.si.edu/onagraceae/index.cfm>
- Wagner, W. L., Hoch, P. C., y Raven, P. H. (2007). Revised Classification of the Onagraceae. *Systematic Botany Monographs*, 83, 1-240.
- Weller, S. G., y Sakai, A. K. (2005). Selfing and resource allocation in *Schiedea salicaria* (Caryophyllaceae), a gynodioecious species. *Journal of Evolutionary Biology*, 18(2), 301-308. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2004.00835.x>
- Widén, B., y Widén, M. (1990). Pollen limitation and distance-dependent fecundity in females of the clonal gynodioecious herb *Glechoma hederacea* (Lamiaceae). *Oecologia*, 83, 191-196. <https://doi.org/10.1007/BF00317751>
- Zhang, B., y Claßen-Bockhoff, R. (2019). Sex-differential reproduction success and selection on floral traits in gynodioecious *Salvia pratensis*. *BMC Plant Biology*, 19, 375. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1972-y>