



Universidad
Rey Juan Carlos

GRADO EN BIOLOGÍA
Curso Académico 2023/24
Trabajo de Fin de Grado

**EFECTO DEL VECINDARIO INTRAESPECÍFICO
EN LA FENOLOGÍA FLORAL DE LA PLANTA
*MORICANDIA MORICANDIODES***

Autor: Carlota Román Sánchez

Tutores URJC: Rubén Torices Blanco y Camilo Ferrón Martínez

Índice

Resumen	3
Introducción	4
Material y métodos.....	6
Especie de estudio	6
Diseño experimental	6
Fenología floral y eficacia biológica	8
Análisis estadístico	8
Resultados	9
Variación genética en el inicio de la floración	9
Efecto del vecindario sobre la fenología floral.....	9
Efecto del vecindario sobre la eficacia biológica	10
Discusión.....	11
Conclusión.....	13
Agradecimientos.....	14
Bibliografía.....	16
Apéndices	18

©2024 Carlota Román Sánchez

Algunos derechos reservados

Este documento se distribuye bajo la licencia "Atribución- CompartirIgual 4.0 Internacional" de Creative Commons,
disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>

Resumen

La fenología floral influye directamente en las interacciones entre planta y polinizador. Además, está condicionada por factores ambientales, y entre otros, por factores bióticos como la identidad y densidad de vecinos circundantes. Sabemos que el endemismo ibérico *Moricandia moricandioides* puede ajustar su inversión floral en función del vecindario, pero se desconoce si la fenología floral de esta especie se modifica en función de la identidad del vecindario intraespecífico. El objetivo de este trabajo es analizar cómo el vecindario intraespecífico afectó a la fenología floral de *M. moricandioides* y si tuvo consecuencias en el éxito reproductor. Para ello se realizó un experimento de jardín común con 16 familias maternas, se manipuló el contexto social y se realizaron mediciones de la fenología floral. Se observó que el inicio y duración de floración estuvieron influenciados por la familia mientras que la presencia de plantas vecinas influyó significativamente en todas las variables fenológicas estudiadas. Además, entre las plantas que crecieron en un grupo, las que se rodearon de sus familiares mostraron una floración significativamente más extendida y una mayor tasa de cuajado de frutos. Los resultados obtenidos evidencian que el contexto social en la especie *M. moricandioides* influye en las variables fenológicas teniendo consecuencias en el éxito reproductor de esta especie.

Introducción

El momento de reproducción tiene un gran impacto en el éxito reproductivo en muchas plantas y animales (Munguía-Rosas et al., 2011). Las interacciones entre planta y polinizador son esenciales desde un punto de vista ecológico, sin polinizadores una gran mayoría de las plantas serían incapaces de producir semillas y reproducirse; y sin plantas que ofrezcan polen y otras recompensas, muchas poblaciones de polinizadores experimentarían una disminución (Ollerton et al., 2011). Además, muchas especies de plantas son autoincompatibles, e incluso si son autocompatibles, requieren polinizadores para transportar el polen desde las anteras hasta el estigma (Ollerton et al., 2011). La mayoría de los polinizadores tienen una capacidad de forrajeo que sobrepasa la escala espacial correspondiente a un único vecindario de plantas, mientras que las poblaciones de plantas no suelen depender de una sola especie de polinizador (Underwood et al., 2020). Esto implica que las plantas deben exhibir sus estructuras reproductoras para obtener la mayor visita de polinizadores a cambio de unos recursos prometidos por parte de la planta. Las plantas que exhiben mayor número de flores grandes atraen más polinizadores, esto conduce a un aumento de la producción reproductiva, al menos cuando el número de polinizadores es escaso (Parachnowitsch & Kessler, 2010).

En las comunidades naturales existe una considerable variación tanto inter como intraespecífica en la fenología floral. Al tratarse la fenología floral de un rasgo multivariado puede evaluarse de diversas maneras (inicio, duración, final de floración) y no todas estas medidas tienen que estar sujetas al mismo proceso de selección (Munguía-Rosas, et al., 2011). La variación en la fenología floral está sujeta a la interacción entre genotipo y ambiente (Shelton et al., 2023). Por un lado, la fenología de la floración depende de señales ambientales y entre las más importantes son la temperatura, el fotoperiodo y la disponibilidad de agua, o los ataques de herbívoros, además de las infecciones por patógenos fúngicos, virales y bacterianos (Fricke et al., 2019). Entre las señales intrínsecas se encuentran los niveles de hormonas vegetales, los niveles de azúcar y la propia variación en los genes asociados a la fenología floral (Fricke et al., 2019). Así la respuesta a las condiciones externas puede variar entre poblaciones de una misma especie. Aunque la temperatura actúe como un promotor para el inicio de floración, la variación genética entre poblaciones y las diferentes condiciones ambientales pueden derivar en diferentes inicios de floración dentro de una misma especie (Rivest et al., 2021). Una disminución en humedad, luz y/o nutrientes pueden alterar los tiempos de floración significativamente. Un caso concreto es el de *Thlaspi caerulescens*: cuando se encuentra en entornos con elevadas concentraciones de zinc se produce un cambio en su floración (Levin,

2009). Las perturbaciones antropogénicas también inducen modificaciones en los tiempos de floración. Por ejemplo, en entornos urbanos las plantas tienden a adelantar su inicio de floración en comparación con las poblaciones que están en áreas rurales (Levin, 2009). Las diferencias genéticas de cada planta conducen a distintos niveles de floración dentro de una misma población, sin embargo, las diferentes condiciones ambientales pueden limitar el momento de floración en las poblaciones (Fricke et al., 2019).

El tipo de vecindario y el número de vecinos también puede modificar la fenología floral de una especie (Shelton et al., 2023), en plantas alógamas el éxito reproductivo depende de la fenología de floración de otras plantas (Falik et al., 2014). El momento de floración podría estar vinculado a señales o estímulos de comunicación entre las plantas. Aquellas que están en flor podrían emitir señales desde sus raíces que actúan como aceleradores exógenos de la floración (Falik et al., 2014). Así los compuestos volátiles podrían servir, además, para indicar la presencia de compañeros en floración (Fricke et al., 2019). Algunas especies de plantas en presencia de familiares o desconocidos incrementan la asignación de recursos a las raíces a expensas de la reproducción, demostrando la potencialidad de reconocer la identidad del vecino a través de las raíces (Chen et al., 2012). Se ha hipotetizado que puede haber comportamientos altruistas y de selección de parentesco en las plantas. Ayudar a los familiares podría aumentar la eficacia biológica indirecta del individuo porque los familiares portan genes que comparten entre ellos (Dudley, 2015). Sin embargo, se desconoce hasta la fecha si la fenología floral de una especie se puede ajustar a la identidad genética del vecindario de plantas en el que cada planta se desarrolla.

Recientemente se ha observado de forma experimental que la especie endémica de la Península Ibérica *Moricandia moricandioides* puede ajustar la inversión en floración en función del vecindario intraespecífico con el que convive. Los individuos que crecieron con familiares invirtieron más recursos en los rasgos de atracción de polinizadores respecto a las plantas que crecieron con otras vecinas no hermanas. Además, el número de familiares influyó en esta respuesta, intensificándolo (Torices et al., 2018). En este estudio no se evaluó los efectos en la fenología floral. Sin embargo, la eficiencia de la inversión en atracción de polinizadores es contexto-dependiente y por lo tanto es fundamental investigar los efectos potenciales del contexto social en la fenología de la floración.

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal el estudio del efecto del vecindario sobre la fenología floral del endemismo ibérico *Moricandia moricandioides*. Este objetivo

general se ha estudiado a través de la manipulación experimental de los vecindarios bajo condiciones de jardín común. Los objetivos particulares fueron: i) estudiar la variación genética en fenología floral de esta especie, ii) analizar si dos de los principales componentes de la fenología floral: inicio y duración dependieron del tipo de vecindario; y iii) explorar si el tipo de vecindario influyó en las variables relacionadas con la eficacia biológica de la planta: número total de flores, número total de frutos y tasa de cuajado de frutos.

Material y métodos

Especie de estudio

La especie utilizada en este experimento fue *Moricandia moricondioides* (Boiss.) Heywood, perteneciente a la familia *Cruciferae*. Es una especie de vida corta, anual que crece en hábitats áridos al sureste de España (Gómez, 1996). También está dispersa, menos frecuente, en el centro, este y noreste de la Península Ibérica (Vesperinas, 1993). Se localiza en taludes margosos, colinas arcillosas o arenosas, fisuras de rocas, siempre en entornos con concentraciones elevadas de calcio (Vesperinas, 1993). Presenta tallos que alcanzan una altura de 80 cm, erguidos en la madurez o ligeramente inclinados y ramificados. Tiene hojas basales, los sépalos muestran tonos púrpuras y los pétalos son purpúreos-violáceos (Vesperinas, 1993). Es una planta hermafrodita autoincompatible, que presenta una corola, con pétalos paralelos, muy distintiva en comparación con otras especies y sus flores son visitadas por insectos polinizadores (Gómez, 1996; Gómez et al., 2016).

Diseño experimental

Este TFG se encuadró dentro de un experimento de jardín experimental en el que se manipuló el contexto social intraespecífico de esta especie, variando la relación de parentesco entre las plantas vecinas que se cultivaron dentro de una misma maceta. Para el experimento de jardín común se seleccionaron 16 familias de plantas procedentes de semillas recolectadas en el mes de junio de 2022 en la población natural de Soto de Cerrillo (41° 55' 51''N, 24° 4' 41''O; 885 m). Las semillas fueron germinadas en el laboratorio CULTIVE de la Universidad Rey Juan Carlos en Móstoles en octubre de 2022. Los individuos germinados fueron repartidos en 390 macetas, que se dividieron en dos experimentos. 80 macetas fueron trasladadas a la finca experimental de La Poveda CSIC el 13 de febrero de 2023 y 310 se quedaron en CULTIVE.

Paralelamente en CULTIVE se estableció este experimento con 272 macetas. Una de las plantas solitarias murió en el inicio del experimento quedando finalmente 271 macetas.



Fig. 1. Vista del experimento donde se pueden apreciar las 272 macetas y su disposición.

Estas 271 macetas se colocaron el 16 de febrero de 2023 en una parcela llamada “Aclimatación 3” de CULTIVE en la Universidad Rey Juan Carlos en Móstoles. En la parcela se establecen 16 filas con 17 macetas cada una, que se colocaron de manera alterna, macetas

“familiares”, macetas “no familiares” y macetas “solitarias”, a una distancia cada una de 1 m (ver Figura 1 y Apéndice 1). Las dimensiones que ocupó el experimento fueron 263 m², y se desarrolló hasta el 31 de julio de 2023. Las macetas tenían una capacidad de 3 l y el sustrato utilizado fue 25 % de yeso de cantera y 75 % de Sustrato Universal, mezcla compuesta por un 30 % de turba rubia fertilizada, un 40 % de sustrato vegetal a base de corteza de pino y un 30 % de mantillo orgánico. Todas las macetas tuvieron un riego homogéneo por goteo. El riego se fue ajustando a las condiciones meteorológicas de cada semana de forma que permitiera la supervivencia de las plantas pero que favoreciera el secado completo del sustrato entre riegos.

Para estudiar el efecto del vecindario sobre el patrón fenológico de esta especie, cada planta foco se cultivó con seis plantas vecinas. Es decir, cada maceta tenía una planta central, la planta foco, que se rodeó de otras seis plantas, las plantas vecinas. En el tratamiento “familiares” las seis plantas vecinas procedían de la misma planta madre que la planta foco siendo por lo tanto como mínimo todas las plantas medio hermanas. En el tratamiento “no familiares” cada planta foco se cultivó acompañada de seis vecinas procedentes de una muestra aleatoria de madres de la misma población que la madre de la planta foco. Por último, se incluyeron plantas cultivadas de forma solitaria en cada maceta con el propósito de comprobar si los patrones fenológicos observados en condiciones competitivas fueron análogos a las condiciones sin competencia. Estos tres tratamientos se aplicaron a plantas focos procedentes de las 16 familias maternas, de forma que cada familia se replicó cinco veces en el tratamiento “Solitaria” (80 macetas inicialmente), y seis veces cada uno de los tratamientos con plantas vecinas (96 macetas en cada tratamiento). En total, el experimento incluyó 1424 plantas.

Fenología floral y eficacia biológica

El seguimiento de la fenología se realizó cuantificando el número de flores abiertas por cada inflorescencia de cada planta cada dos días desde el inicio de la floración el 17 de marzo de 2022 hasta el 12 de mayo de 2023. A partir de esta fecha dado el menor número de flores el seguimiento se realizó de forma semanal hasta el 28 de junio de 2023 cuando las plantas terminaron de florecer.

Una vez las plantas terminaron de fructificar y antes de que se dispersaran las semillas, se recolectaron todos los frutos producidos por cada planta en sobres blancos indicando el nombre de la planta y su fecha de recogida. En el laboratorio se procedió a contar el número total de frutos producidos. Además, se pudo cuantificar el número total de flores producidas por planta puesto que cada flor deja una marca en la inflorescencia que es fácilmente identificable. La tasa de cuajado de frutos se estimó relacionando el número total de frutos producidos respecto al total de flores estimadas.

Análisis estadístico

Los datos recogidos se registraron en un archivo Excel. En cada columna se apuntó el nombre de cada individuo, la familia materna, el ID con el tratamiento, el tratamiento, si era solitaria, si florecía, el inicio de floración, el fin de floración, la duración de floración, número total de flores, el número de frutos, el número de marcas y la tasa de cuajado de frutos (“fruitset”). Para el análisis estadístico se usó la herramienta estadística RStudio (RStudio Team, 2020). Para comprobar si hubo diferencias genéticas en la fenología floral de esta especie se seleccionó sólo las plantas solitarias. Se ajustó un modelo lineal generalizado para cada variable respuesta en el que la variable respuesta fueron la probabilidad de floración, el inicio de floración y la duración de la floración. Se incluyó como factor la familia de cada planta. La variable respuesta se modeló asumiendo una distribución binomial para la probabilidad de floración y binomial negativa para las otras dos variables respuesta.

Para comparar si el tipo de vecindario influyó sobre la fenología floral se ajustaron modelos lineales generalizados mixtos para cada una de las tres variables respuesta anteriores. En estos modelos el factor fue el tipo de vecindario que incluía tres niveles: solitaria, con vecinas familiares y con vecinas no familiares. Además, se incluyó como variable aleatoria la familia genética de cada planta.

Por último, se evaluó el efecto del vecindario sobre las medidas de éxito reproductor de la planta: número de flores, número de frutos y la tasa de cuajado de frutos. Para ello se ajustó un modelo lineal generalizado mixto para cada una de las variables incluyendo como factor fijo el tipo de vecindario y como factor aleatorio la familia genética de cada planta. El número de flores y el número de frutos se modelaron asumiendo una distribución de los errores binomial negativa, y la tasa de cuajado de frutos se asumió de tipo binomial.

Resultados

Variación genética en el inicio de la floración

En plantas solitarias, el inicio y duración de la floración estuvieron significativamente influenciados por la familia y la probabilidad de floración no difirió significativamente entre familias (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto tipo II de la familia genética sobre la probabilidad, inicio y duración de la floración en plantas solitarias.

Variable	χ^2	gl	P
Probabilidad de floración	11.7	15	0.600
Inicio floración	33.4	15	0.004
Duración de floración	33.5	15	0.003

Efecto del vecindario sobre la fenología floral

El tipo de vecindario influyó significativamente en todas las variables fenológicas estudiadas en el experimento (Tablas 2 y 3). La probabilidad de floración fue significativamente mayor en plantas solitarias que en aquellas que estuvieron rodeadas de otras plantas vecinas independientemente de la composición genética de las plantas vecinas (Figura 2a). Casi todas las plantas solitarias florecieron mientras que en torno a la mitad de las plantas en vecindarios no florecieron (Figura 2a). Además, las plantas solitarias florecieron significativamente más temprano (Figura 2b) y mostraron una duración de la floración mayor (Figura 2c) que las plantas con vecinas. El tipo de parentesco genético entre plantas vecinas modificó significativamente la duración de la floración (Figura 2c) de forma que las plantas cultivadas

con plantas vecinas familiares mostraron una floración significativamente más extendida (Figura 2c) que las plantas que crecieron en grupos con vecinas no familiares.

Tabla 2. Efecto tipo II del vecindario sobre la fenología floral.

Variables	χ^2	gl	<i>P</i>
Probabilidad de floración	32.2	2	<0.001
Inicio de floración	166.6	2	<0.001
Duración de floración	132.6	2	<0.001

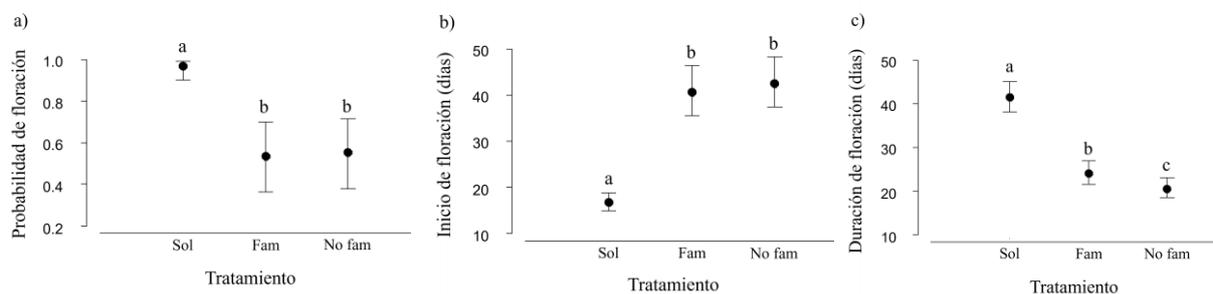


Fig. 2. Medias marginales e intervalos de confianza (95%) con los tratamientos “Solitarias” (Sol), “Familiar” (Fam) y “No familiar (No fam) de: a) la probabilidad de floración respecto al tratamiento, b) inicio de floración respecto al tratamiento, c) duración de floración respecto al tratamiento.

Efecto del vecindario sobre la eficacia biológica

Consecuentemente, las plantas solitarias produjeron significativamente más flores y más frutos que las plantas acompañadas por vecinas (Tabla 3, Figura 3a, b). Las plantas que crecieron en grupos no difirieron significativamente en el número de flores (Figura 3a) y frutos (Figura 3b), sin embargo, la tasa de cuajado de frutos fue significativamente mayor en las plantas que crecieron con plantas familiares comparadas con las plantas rodeadas de otras plantas no familiares o incluso las solitarias (Figura 3c).

Tabla 3. Efecto del tipo II del vecindario sobre el éxito reproductor femenino.

Variables	χ^2	gl	P
Número total de flores	90.0	2	<0.001
Número total de frutos	181.2	2	<0.001
Tasa de cuajado de frutos	10.6	2	0.005

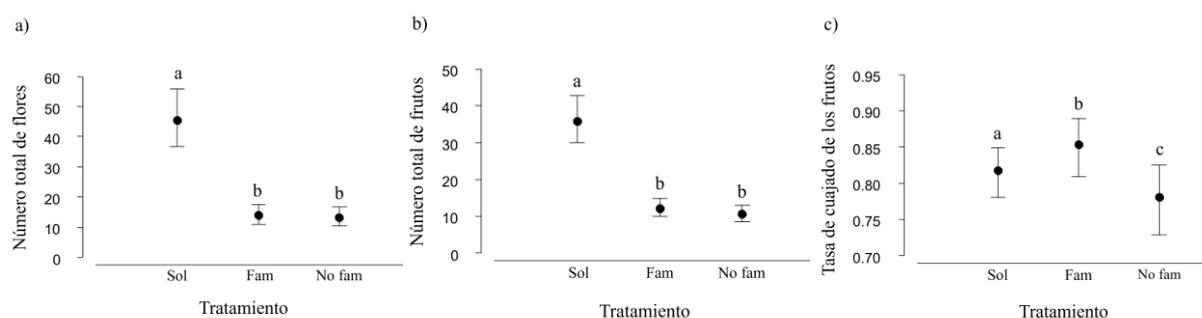


Fig. 3. Medias marginales e intervalos de confianza (95%) “Solitarias” (Sol), “Familiar” (Fam) y “No familiar (No fam) de: a) número total de flores respecto al tratamiento, b) número de frutos respecto al tratamiento, c) tasa de cuajado de frutos respecto al tratamiento.

Discusión

El estudio de la fenología floral en condiciones de jardín común ha permitido constatar que la población estudiada mostró variación en el inicio y duración de la floración entre las diferentes familias genéticas utilizadas. En particular se observaron diferencias entre las familias genéticas en ambas variables. Además, la presencia de plantas vecinas y su identidad genética condicionó parte del patrón fenológico con consecuencias en las variables de éxito reproductor.

El inicio y duración de floración estuvieron significativamente influenciados por la familia. La variación fenológica dirige a un apareamiento selectivo, las plantas que florecen antes son polinizadas por otras plantas tempranas, mientras que las plantas más tardías son polinizadas por plantas más tardías (Elzinga et al., 2007). Las plantas con una polinización por insectos presentan duraciones de floración más diversas, esto concuerda con la noción de que la diferencia fenológica disminuye la competencia por polinizadores (Elzinga et al., 2007). Además, la probabilidad de supervivencia y reproducción son dependientes del genotipo, esta variabilidad entre poblaciones es más grande de lo imaginado (Hutchings, 1997).

La presencia o no de plantas vecinas modificó significativamente el inicio de floración y número total de flores y frutos. En particular, se observó que fue mayor en plantas solitarias. Las variaciones en la densidad poblacional conducen a respuestas plásticas y adaptativas entre genotipos, indicando presiones de selección que favorecen distintos niveles de plasticidad en los tiempos de floración (Vermeulen, 2014). La presencia de vecinos puede inhibir la floración por parte de las plantas que florecen temprano, o por el retraso de floración en las plantas subordinadas al ceder ante sus vecinos (Falik et al., 2014). El retraso de la floración puede ser beneficioso para la supervivencia y reproducción exitosa porque permite que las plantas se reproduzcan en un momento donde puedan tener alguna ventaja competitiva; siendo una estrategia adaptativa en entornos con recursos limitados (Vermeulen, 2014). Generalmente la disminución del desarrollo de una planta viene dada por la competencia de recursos edáficos, la capacidad de un individuo para obtener recursos está sujeto a la densidad y proximidad de vecinos (Hutchings, 1997). Si una planta crece aislada su desarrollo será mayor en comparación a individuos de poblaciones densas (Hutchings, 1997), así las plantas solitarias tendrán más flores y frutos.

El tipo de vecindario modificó significativamente la duración de floración, en concreto se observó que las plantas que crecieron con plantas vecinas familiares exhibieron períodos de floración significativamente más prolongados en comparación con aquellas que crecieron en grupos con plantas no familiares. A medida que aumenta la variación en el inicio de floración, la sincronía de floración disminuye y se reduce la oportunidad de apareamiento porque hay menos plantas disponibles para la polinización cruzada (Shelton et al., 2023). No obstante, si las plantas dentro de un parche tienen duraciones de floración extensas, hay mayor probabilidad de que la floración se superponga, lo que resulta en un mayor número de compañeros potenciales (Shelton et al., 2023). Una planta puede destinar recursos de manera más eficiente a otras funciones reproductivas cuando no se invierten en pétalos (Torices et al., 2018). Optar por la estrategia de tener un período más extenso de floración puede ser beneficioso porque permite a las plantas aprovechar aquellos días donde el servicio de polinizadores es escaso o hay baja disponibilidad de compañeros (Shelton et al., 2023). La elección de una estrategia particular, como puede ser aumentar la duración de floración, depende de la identidad y estrategia de las plantas vecinas (Chen et al., 2012). Según el tipo de vecindario, los individuos de una misma especie pueden tener comportamientos competitivos o de reciprocidad, y si se encuentran rodeados por familiares, comportamientos altruistas (Dudley, 2015). Estudios recientes sobre el reconocimiento de parentesco en plantas sugieren que los individuos

conducen potencialmente ayuda a los familiares, requisito clave para el desarrollo del comportamiento altruista (Dudley, 2015).

Cuando las plantas presentan pequeños despliegues florales, pero con mayor duración de floración, aumenta el éxito de apareamiento y su eficacia biológica (Shelton et al., 2023). En relación con esta idea, se observó que la tasa de cuajado fue significativamente mayor en plantas rodeadas por familiares. Una planta aislada que florece muy pronto, sin tener tiempo para acumular recursos materiales, tendrá una capacidad limitada para producir semillas (Elzinga et al., 2007). Además, el tipo de vecindario produce efectos en el número de visitas de polinizadores por planta (Underwood et al., 2020). La comunicación de floración se hace más prevalente entre plantas donde la atracción por polinizadores está afectada por la abundancia y densidad local de flores; esto puede ser más beneficioso en grupos familiares (Falik et al., 2014). La dinámica competitiva entre individuos en un mismo parche podría contrarrestar los beneficios cooperativos de atraer polinizadores, por lo tanto, las plantas que crecen con vecinos familiares podrían cooperar más para atraer a polinizadores que aquellas que crecen con vecinos no familiares, mejorando así la eficacia biológica inclusiva mediante los beneficios atribuidos a los familiares (Torices et al., 2018).

Conclusión

Teniendo en cuenta nuestros resultados y los aportados por otros investigadores, parece que el contexto social en la especie *Moricandia moricandioides* modificó las variables fenológicas, teniendo consecuencias en el éxito reproductor de esta especie. Se confirma que existe variabilidad genética entre familias de *M. moricandioides*. Esto sugiere la existencia de una base genética que influye en los patrones fenológicos de la especie, muy importante para comprender mejor su plasticidad.

La fenología floral de *M. moricandioides* muestra una alta relación entre la plasticidad fenotípica y la densidad poblacional, la variabilidad fenológica entre individuos solitarios o con vecinos indica la existencia de adaptaciones al contexto social. Asimismo, esta adaptación al contexto social nos muestra un impacto del parentesco en la duración de floración, siendo mayor en plantas rodeadas por familiares. Esta adaptación revela una posible estrategia reproductiva de los individuos emparentados para optimizar la eficacia biológica gracias a un potencial comportamiento altruista.

Para líneas futuras de investigación se plantea explorar más a fondo la expresión de genes o la existencia de compuestos químicos específicos relacionados con el reconocimiento de familiares en *M. moricandioides*. Desarrollar estudios más detallados de la variabilidad genética dentro de cada familia e investigar cómo esa variabilidad específica influye en las respuestas fenotípicas. Realizar este mismo experimento en diferentes condiciones ambientales, cambios en la temperatura, disponibilidad de agua y presencia de polinizadores, para estudiar cómo las respuestas sociales de esta especie difieren en diferentes entornos. Sería interesante aplicar estos conocimientos sobre interacciones sociales en plantas en prácticas de agricultura y conservación de especies relacionadas, para mejorar la gestión de poblaciones.

En este trabajo de fin de grado se abordan varios Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se analiza el comportamiento y las interacciones de plantas en un contexto social, relacionado con la salud y el funcionamiento de los ecosistemas, ODS número 15 Vida de Ecosistemas Terrestres. Se contribuye a la comprensión de cómo las plantas pueden adaptarse o modificar sus respuestas a diferentes contextos sociales y densidades, siendo bastante relevante para abordar el cambio climático, ODS número 13 Acción por el Clima. No se aborda directamente, pero este experimento podría tener aplicaciones en la producción de alimentos si se realizase con especies de cultivos agrícolas. Porque se explora la eficacia biológica de las plantas y su capacidad para producir semillas en diferentes contextos sociales y densidad de población, ODS número 2 Hambre Cero.

Agradecimientos

Hoy llega el fin de este viaje académico, me siento llena de gratitud y emoción al mirar hacia atrás y reflexionar sobre los desafíos que he superado. En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, quienes han sido mi roca y fuente inagotable de apoyo. Ellos fueron los que, con amor y paciencia, me impulsaron a seguir adelante cuando la carga académica era abrumadora y los obstáculos se multiplicaban. A mi hermana Jimena, gracias por estar a mi lado en los momentos más oscuros y ser mi fuente de luz inexorable. Durante estos años, he tenido el privilegio de cruzar caminos con personas excepcionales, algunas de las cuales ya no están presentes en esta etapa final y otras sí. A todos ellos, les envío mi reconocimiento y gratitud por formar parte de mi camino, incluso si solo fue por un tiempo. He tenido la fortuna de contar con guías extraordinarios, mis tutores Rubén y Camilo. Su dedicación, paciencia y conocimientos han sido fundamentales para alcanzar este logro. Estas dos últimas semana, han demostrado un

compromiso excepcional al revisar y corregir mi trabajo con diligencia y sabiduría. Su amabilidad y habilidad para dirigirme han sido una fuente de impulso constante en este proceso. Además de su apoyo académico, quiero reconocer el regalo adicional que me han hecho: la revelación de partes increíbles de la biología. Sus enseñanzas han ido más allá de lo técnico de dirigir un TFG, me han inspirado a apreciar la belleza intrínseca de la ciencia que tanto me gusta. Agradezco profundamente a todos mis profesores de la carrera su dedicación en la enseñanza. Especial reconocimiento a Vicente y Goyo, por su pasión en la educación y el compromiso con los estudiantes. A mi abuela, te dedico este logro con amor y gratitud, gracias por ser mi inspiración y por guiar mis pasos desde donde quiera que estés.

Bibliografía

- Chen, J. W. B.; During, J. H.; Anten, P. R. N. (2012). Detect thy neighbor: Identity recognition at the root level in plants. *Plant Science* 195: 157-167.
- Dudley, A. S. (2015). Plant cooperation. *AoB PLANTS* 7: plv113.
- Elzinga, A. J.; Atlan, A.; Biere, A.; Gigord, L.; Weis, E. A.; Bernasconi, G. (2007). Time after time: flowering phenology and biotic interaction. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 432-439.
- Falik, O.; Hoffmann, I.; Novoplansky, A. (2014). Say it with flowers: Flowering acceleration by root communication. *Plant Signaling & Behaviour* 9: e28258.
- Fricke, U.; Lucas-Barbosa, D.; Douma, C. J. (2019). No evidence of flowering synchronization upon floral volatiles for a short lived annual plant species: revisiting an appealing hypothesis. *BMC Ecology* 19: 1-9.
- Gómez, M. J.; Torices, R.; Lorite, J.; Klingenberg, P. C.; Perfectti, F. (2016). The role of pollinators in the evolution of corolla shape variation, disparity and integration in a highly diversified plant family with a conserved floral bauplan. *Annals of Botany* 117: 889-904.
- Gómez, M. J. (1996). Predispersal reproductive ecology of an arid land crucifer, *Moricandia moricandioides*: effect of mammal herbivory on seed production. *Journal of Arid Environments* 33: 425-437.
- Hutchings, J. M. (1997). The Structure of Plant Populations. En: Crawley, J. M (ed.) *Plant Ecology*: 325-358. Blackwell Science, Londres.
- Levin, A. D. (2009). Flowering-time plasticity facilitates niche shifts in adjacent populations. *New Phytologist* 183: 661-666.
- Munguía-Rosas, A. M.; Ollerton, J.; Parra-Tabla, V.; De-Nova, A. J. (2011). Meta-analysis of phenotypic selection on flowering phenology suggests that early flowering plants are favoured. *Ecology Letters* 14: 511-521.
- Ollerton, J.; Winfree, R.; Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos* 120: 321-326.

- Parachnowitsch, L. A.; Kessler, A. (2010). Pollinators exert natural selection on flower size and floral display in *Penstemon digitalis*. *New Phytologist* 188: 393-402.
- Rivest, S.; Lajoie, G.; Watts, A. D.; Vellend, M. (2021). Earlier spring reduces potential for gene flow via reduced flowering synchrony across an elevational gradient. *American Journal of Botany* 108: 538-545.
- Shelton, R. W.; Mitchell, J. R.; Christopher, A. D.; Jack, P. L.; Karron, D. J. (2023). Among-individual variation in flowering phenology affects flowering synchrony and mating opportunity. *American Journal of Botany* 111: e16269.
- Sobrino-Vesperinas, E. (1993). Moricandia DC. En: Castroviejo, S.; Aedo, C.; Laínz, M.; Garmendia, M. F.; Feliner, N. G.; Paiva, J.; Benedí, C (ed.) *Flora Ibérica*: 337-344. Real Jardín Botánico CSIC, Madrid.
- Torices, R.; Gómez, M. J.; Pannell, R. J. (2018). Kin discrimination allows plants to modify investment towards pollinator attraction. *Nature Communications* 9: 2018.
- Underwood, N.; Hambäck, A. P.; Inouye, D. B. (2020). Pollinators, herbivores, and plant neighborhood effects. *The Quarterly Review of Biology* 95: 37-57.
- Vermeulen, J. P. (2014). On selection for flowering time plasticity in response to density. *New Phytologist* 205: 429-439.

Apéndices

Apéndice 1. Esquema de la distribución del experimento

28K8	31C10	38I5	31K5	44C7	38I3	44K2	31C8	48I1	46K6	28C10	14I5	44K1	06C1	28I4	47K1
46C8	13I5	38K7	39C7	47I4	13K5	31C5	13I1	48K3	28C7	07I3	01K6	39C4	31I4	46K7	47C7
07I1	28K1	44C9	48I3	13K6	48C6	28I1	14K5	02C10	28I3	01K7	01C2	13I3	44K5	48C10	14I3
39K10	19C1	31I5	31K9	14C2	48I5	48K10	01C3	12I3	38K1	38C3	14I1	39K8	28C4	07I4	06K5
12C7	07I5	02K5	14C3	01I2	14K8	12C3	48I2	07K10	38C5	46I1	38K6	38C7	47I3	02K2	01C9
02I2	06K9	46C6	06I4	19K6	46C7	12I2	48K7	28C6	01I4	46K2	19C7	38I1	12K7	02C4	06I2
38K5	44C4	19I1	47K6	07C10	01I1	12K1	46C1	39I3	14K2	01C4	01I5	07K1	39C1	12I4	48K5
13C1	12I1	31K2	44C5	44I2	02K9	19C5	14I2	07K6	02C8	06I5	19K2	06C5	19I4	02K8	12C8
14I4	47K2	28C1	31I1	01K3	46C2	44I3	44K9	14C10	28I5	39K5	07C5	28I2	13K8	06C9	02I5
13K3	12C5	47I5	31K6	47C8	46I3	39K3	02C3	46I4	46K10	02C2	12I5	07K5	39C2	39I1	28K10
448C3	46I5	06K6	48C4	39I2	31K10	06C7	02I3	06K1	13C9	19I3	13K9	38C4	31I3	01K2	48C2
02I1	06K4	47C9	01I3	01K4	31C4	06I3	44K4	19C9	31I2	19K4	07C4	19I2	02K3	07C1	44I4
14K6	19C8	47I1	47K8	01C10	44I1	38K2	47C3	06I1	12K4	12C4	38I4	12K3	07C8	44I5	12K2
13C8	29I5	39K2	44C8	39I4	14K4	47C4	02I4	19K10	14C1	48I4	28K2	13C7	46I2	19K7	14C8
13I2	28K3	39C3	47I2	47K7	13C5	19I5	48K9	31C6	13I4	07K3	06C8	07I2	46K8	38C8	38I2