



Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

Grado en Ciencias Experimentales

Curso académico 2023/2024

Trabajo Fin de Grado

**Efectos de parentesco genético entre plantas vecinas en los patrones de
fenología floral**

Autor: Alejandro Gacimartín Jiménez.

Tutores: Rubén Torices Blanco y Lucía de Soto Suárez

Índice

Resumen	3
Introducción	4
Objetivos	5
Materiales y métodos.....	6
Especie de estudio	6
Diseño experimental.....	6
Caracterización de la fenología floral.....	7
Análisis estadístico	7
Resultados y discusión	8
Variación en el inicio e intensidad de la floración en plantas solitarias	8
Efecto de la densidad y composición genética del vecindario sobre el inicio y despliegue floral	9
Comparación entre plantas solitarias y plantas con vecinas para cada nivel de densidad.....	10
Conclusión.....	14
Bibliografía.....	16

RESUMEN

La gran mayoría de las plantas para realizar con éxito su reproducción dependen de los polinizadores, a los que atraen gracias a la inversión que realizan en estructuras florales llamativas, el despliegue floral. Los polinizadores se sienten atraídos por áreas donde haya una mayor densidad de flores, ya que dispondrían de una mayor cantidad de recursos florales para alimentarse. Este patrón llamado efecto imán implica que la inversión de una planta en atracción de polinizadores pueda beneficiar no sólo la atracción individual sino también a las plantas vecinas. Pese a que los efectos de la densidad de flores sobre la atracción de polinizadores se conocen relativamente bien, en la actualidad se desconoce si el tiempo de la floración, la fenología, puede variar cuando las plantas crecen dentro de estos vecindarios intraespecíficos de plantas. En este TFG se estudió a través de un experimento controlado si la composición genética y densidad del vecindario intraespecífico tuvo un efecto sobre la fenología floral. Este estudio se realizó con la especie ibérica endémica *Moricandia moricandioides* (Brassicaceae), una planta polinizada por insectos que normalmente crece en parches, en la que previamente se ha observado que es capaz de cambiar su inversión en floración dependiendo de la composición genética y densidad del vecindario. Los resultados mostraron que los individuos que crecían con plantas parientes adelantaron significativamente su floración y produjeron despliegues florales diarios más grandes que aquellos que crecieron con plantas no emparentadas genéticamente. La inversión en atraer polinizadores fue moldeada por la presencia y parentesco de los vecinos, mostrando la importancia del reconocimiento de parentesco en la evolución de las estrategias reproductivas de las plantas.

INTRODUCCIÓN

Las plantas debido a la limitación de los procesos dispersivos se suelen encontrar en la naturaleza rodeadas de otras plantas de la misma especie, generando grupos de plantas vecinas que frecuentemente están genéticamente emparentadas (Loveless & Hamrick, 1984). Este entorno local tiene consecuencias fundamentales en el éxito reproductor de las plantas (Mack & Harper, 1977). Por ejemplo, las altas densidades florales de una especie de planta particular pueden aumentar la atracción de polinizadores y la constancia efectiva de sus visitas, reduciendo así la transferencia de polen interespecífica y aumentando la calidad de las visitas de los polinizadores (Dauber et al., 2010). Aunque las interacciones indirectas entre plantas a través de polinizadores compartidos a menudo se espera que sean competitivas, compartir polinizadores puede ser beneficioso cuando las especies de plantas atraen o mantienen conjuntamente poblaciones de polinizadores (Moeller, 2004). Los polinizadores no solo son atraídos por plantas con más cantidad y tamaño de flores si no por su distribución espacial, por lo que las plantas se pueden beneficiar por el despliegue de sus vecinas, lo que se conoce como efecto imán (Laverty, 1992).

Las plantas ajustan sus fenotipos según las condiciones ambientales que las rodean, el entorno biótico y abiótico, pero evidencias recientes indican que además las plantas también pueden responder y modificar sus fenotipos cuando se encuentran rodeadas por otras plantas (Callaway, 2002). Las plantas adquieren información de su entorno competitivo y pueden ajustar tanto su fenotipo aéreo como radicular (Murphy & Dudley, 2009). Las respuestas plásticas pueden ser permanentes una vez inducidas, relativamente fijas para una temporada de crecimiento dada, o pueden ser dinámicas en una escala de horas, como en el caso de los efectos de la luz sobre la química fotosintética (Callaway et al., 2003). La presencia e identidad de plantas vecinas también puede inducir respuestas plásticas en la asignación y arquitectura de las raíces (Callaway et al., 2003).

Los mecanismos de reconocimiento de las plantas vecinas podrían ser más sofisticados de lo pensado inicialmente y podrían permitir a las plantas reconocer la identidad genética de sus plantas vecinas. En los últimos años varios estudios han demostrado que las plantas son capaces de reconocer a los parientes a través de interacciones ente raíces (Bhatt et al., 2010). La capacidad de reconocer a los parientes es un elemento importante en el comportamiento social y puede llevar a la evolución del altruismo (Murphy & Dudley, 2009). Este reconocimiento de parientes es especialmente ventajoso en situaciones competitivas si evita comportamientos de competencia hacia los parientes o promueve la cooperación entre hermanos. (Murphy & Dudley, 2009). El reconocimiento de plantas genéticamente emparentadas no parece limitado a cambios competitivos a través de las raíces. Concretamente la especie *Moricandia moricandioides* ajusta su inversión floral a su contexto intraespecífico de forma que invierte proporcionalmente más recursos en la atracción de polinizadores cuando crece rodeada de otras plantas de su misma especie, pero este incremento es significativamente mayor cuando las vecinas son parientes genéticos (Torices et al., 2018).

La fenología vegetal y la producción periódica de las estructuras vegetativas y reproductivas, es resultado de las interacciones entre factores bióticos y abióticos que determinan el tiempo más adecuado para el crecimiento y la reproducción de las plantas (van Schaik et al., 1993). Dentro de la fenología, la fenología floral tiene un gran impacto en el éxito reproductivo en las plantas (Munguía-Rosas et al., 2011). Sin embargo, pese a la importancia de la fenología floral, se desconoce si una planta puede ajustar de forma plástica su fenología a la composición genética del vecindario. A nivel teórico se ha propuesto que debería haber plasticidad en la fenología floral en respuesta a la densidad del vecindario (Vermeulen, 2015). Además de la densidad, la selección de parentesco debería favorecer un aumento abrupto en el esfuerzo reproductivo al final de la temporada de crecimiento, especialmente para las plantas bajo selección de parentesco (Chen et al., 2023). Las plantas que crecen con parientes cercanos deberían cooperar más en esta atracción de polinizadores, ya que su efecto se ve potenciado por los beneficios otorgados a los parientes que aquellas que crecen con extraños (Torices et al., 2018). Este gasto en publicidad debería ser más favorecido por la selección cuando quienes comparten los beneficios están relacionados entre sí, ya que esto aumentará el fitness inclusivo de las plantas relacionadas (Torices et al., 2021). Sin embargo, se desconoce si el vecindario donde se encuentra ubicada una planta puede afectar la forma en que la planta distribuye sus recursos reproductivos en el tiempo y por lo tanto si puede modificar, por ejemplo, cuándo iniciar la floración o la cantidad y tamaño de sus flores. En este trabajo nos centramos en las interacciones intraespecíficas para evaluar si el contexto social podría tener efectos de ajustes fenotípicos sobre el inicio de floración y el despliegue floral, en una especie de planta que depende únicamente de los polinizadores para su reproducción: el endemismo ibérico *Moricandia moricandioides*.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado fue el estudio del efecto del vecindario intraespecífico sobre la fenología floral de la planta endémica ibérica *Moricandia moricandioides*. Este estudio se realizó a través de la manipulación experimental de los vecindarios controlando al mismo tiempo las condiciones ambientales y el origen genético de las plantas foco como de las plantas vecinas. Este objetivo general se desarrolló a través de los siguientes objetivos particulares:

- i. Estudiar si la diferencia de recursos debida a distintos tamaños de macetas afectó de manera significativa al inicio de la floración de las plantas.
- ii. Estudiar si la composición del vecindario influyó el inicio de la floración de las plantas.
- iii. Investigar si el número de flores abiertas por día, el despliegue floral individual, dependió de la composición del vecindario

MATERIALES Y MÉTODOS

Especie de estudio

Este estudio utilizó como especie modelo la planta *Moricandia moricandioides* que pertenece a la familia Brassicaceae. Esta especie es endémica de la Península Ibérica y es propia de climas áridos del sureste de España distribuida principalmente en laderas margosas, colinas arcillosas o arenosas, y fisuras en rocas, habitualmente en áreas con altas concentraciones de calcio (Vesperinas, 1993). Es una especie anual o de vida corta con una estructura de población irregular y dispersión pasiva de semillas que depende únicamente de insectos polinizadores para su reproducción (Gómez, 1996).

Diseño experimental

Para estudiar el efecto del vecindario sobre la fenología floral se realizó un experimento en el que se controló el contexto social intraespecífico. Este experimento se desarrolló en el año 2016 en el invernadero de la Universidad de Lausana (Suiza) y por lo tanto yo no formé parte del equipo que desarrolló el montaje experimental. Toda la información está basada en la información proporcionada por los tutores de este TFG y el proyecto del cual se han utilizado los datos para este trabajo.

En este experimento se manipuló el número y el parentesco de las plantas vecinas que comparten la misma maceta. Las plantas focales, aquellas que se sembraron en el centro de la maceta, podían tener cero, tres o seis plantas vecinas. Además del número de vecinas, se manipuló el parentesco genético entre las plantas foco y las plantas vecinas utilizando dos niveles. “Parientes”, cuando las plantas vecinas que rodeaban a la planta foco procedían de la misma planta madre que la planta foco; y “No parientes”, donde cada una de las plantas en este caso procedía de una planta madre diferente. Todas las vecinas de una misma maceta se plantaron el mismo día.

Inicialmente se sembraron 10000 semillas de 50 madres diferentes que fueron recolectadas en junio de 2015 en Granada (Torices et al., 2018). De las 50 se seleccionaron sólo las 35 que tenían el porcentaje más alto de germinación para evitar muertes al inicio. Las plántulas se trasplantaron en macetas con 1,5 L de sustrato entre el 7 y el 18 de abril de 2016. Las plantas se cultivaron en el invernadero de la Universidad de Lausana (Suiza) a 24°C constantes, con un horario de 16:8 h de día y noche, en una mezcla de 50% de compost esterilizado y 50% de topsoil (sustrato fértil de cultivo natural), con un pH 7,4. Las macetas se regaron diariamente con 135 mL de agua. En total se plantaron 126 macetas, 63 eran familiares y la otras 63 no familiares. 70 macetas tenían 3 vecinas mientras que, 56 tenían 6 vecinas. Además, se incluyeron en el experimento plantas que se cultivaron de manera solitaria tanto en macetas grandes 1,5 L como en macetas medianas 0,374 L y pequeñas 0,214 L. Estas plantas solitarias provenían de las madres usadas como focos en los experimentos con vecinas y permitieron comprobar si los efectos observados por un incremento de la densidad se debieron sólo por una mera reducción de los recursos del suelo debidos al incremento de la competencia.

Se plantaron 98 solitarias que se dividieron en 35 grandes, 35 medianas y 28 pequeñas. El total entre ambas partes del experimento fue de 224 macetas, 770 plantas, 224 focales y 546 vecinas. Las macetas se distribuyeron al azar dentro del invernadero y separadas unas de otras por una distancia de 0,5m para evitar el contacto o sombras entre ellas (Torices et al., 2018).

Caracterización de la fenología floral

Las plantas iniciaron la floración el día 25 de abril y duró hasta el 31 de agosto. Durante este periodo se registró el número de flores abiertas en cada uno de los 770 individuo cada dos o tres días. Estos datos recogidos en un estadillo fueron procesados en la Universidad Rey Juan Carlos en tablas del procesador de datos Excel. En Excel se organizaron los datos por bloque (familia genética), tratamiento (tipo de maceta y número de vecinas), días del experimento, flores totales abiertas por planta, inflorescencias (disposición de las flores), flores por inflorescencia y por último una identificación para cada una de las inflorescencias. Una vez introducidos los datos se obtuvo un Excel con un total de 37.496 registros.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando sólo los datos de las plantas foco sobre las que se analizó el efecto de los distintos vecindarios. Previamente en Excel se realizaron tablas dinámicas con las que se obtuvieron los primeros resultados separando por tratamiento y bloque para las variables de inicio de floración y despliegue floral.

Para el estudio estadístico se utilizó el programa RStudio (RStudio Team, 2020). Se introdujeron los datos en el programa eliminando las columnas que no se evaluaron en el estudio estadístico. Para el análisis inicio de la floración, se ajustó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos asumiendo una distribución de los errores de la familia binomial negativa (glmer.nb). Como factor fijo se introdujo el tipo de vecindario y como factor aleatorio la familia materna de la que procedían las plantas foco, teniendo en cuenta los parámetros de tratamiento y bloque. Para comparar si el vecindario influyó en el tamaño del despliegue floral se ajustó un modelo lineal mixto en con los mismos factores fijos y aleatorios que el anterior. Además, se repitieron estos modelos usando sólo las plantas que crecieron en grupos, de forma que se pudo descomponer el efecto del tipo de vecindario en dos factores: densidad y parentesco de las plantas vecinas con la planta foco. Este modelo permitió evaluar la interacción estadística entre ambos factores. Por último, para comparar el efecto del tamaño de la maceta sobre las variables inicio de floración y tamaño del despliegue floral se ajustaron otros dos modelos con la misma estructura que los anteriores, pero en los que el factor fijo fue el tamaño de la maceta.

Cuando no hubo efectos de interacción entre los factores principales, se analizaron los efectos de tipo II por medio de la función “Anova” (del paquete “Car”). Cuando el modelo incluyó la interacción entre factores, se analizaron primero los efectos de tipo III, cuando estos no fueron significativos, se evaluó el efecto de los factores principales usando los efectos de tipo II.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación en el inicio e intensidad de la floración en plantas solitarias

El volumen de suelo influyó significativamente en el inicio de la floración y en el número de flores desplegadas por día (Tabla 1). De forma que las plantas que crecieron en macetas con más suelo florecieron significativamente más temprano y produjeron más flores de media que las flores en las macetas con 1/4 y 1/7 del suelo (Figura 1). Las plantas solitarias en macetas más grandes tuvieron un inicio de floración más temprana que aquellas con menor cantidad de suelo (Figura 1a). Además, las plantas que crecieron en macetas más grandes produjeron una cantidad significativamente mayor de flores por día en comparación con las otras dos que tienen una producción similar (Figura 1b).

Tabla 1. Efecto del volumen de suelo sobre el inicio de floración y despliegue floral en plantas de *Moricandia moricandioides*. n, tamaño muestral; g.l., grados de libertad

Variable	n	g. l	χ^2	P
Inicio de floración	82	2	22.60	<0.001
Despliegue floral	900	2	75,75	<0.001

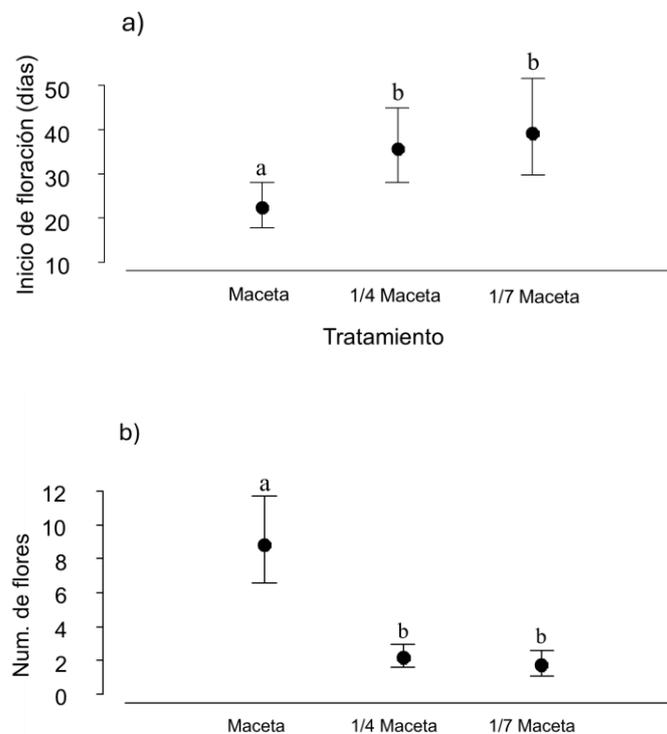


Figura 1. Media marginal (\pm 95% intervalo de confianza) del (a) inicio de floración y (b) número de flores abiertas por día de las plantas solitarias bajo diferente volumen de suelo.

Efecto de la densidad y composición genética del vecindario sobre el inicio y despliegue floral

Al comparar plantas que crecieron con otras vecinas se observó que el parentesco de las plantas vecinas influyó significativamente el inicio de la floración (Tabla 2). Las plantas que crecieron con parientes, es decir con plantas procedentes de la misma madre, adelantaron significativamente la floración (Figura 2a), independientemente de la densidad de la maceta.

Tabla 2. Efecto de tipo II del parentesco y densidad de plantas vecinas sobre el inicio de floración. La interacción se evaluó utilizando efectos de tipo III. n = 119.

Factores	χ^2	<i>P</i>
Parentesco	5.25	0.021
Densidad	0.43	0.511
Parentesco × Densidad	2.25	0.133

En cambio, el número de flores abiertas por día no varió en las plantas focos con diferentes vecindarios (Tabla 3). Es decir, un incremento de la densidad no conllevó una reducción o aumento significativo del número de flores abiertas por día (Figura 2b). Aunque las plantas rodeadas de sus parientes mostraron una media de flores abiertas por día ligeramente mayor que las plantas con familiares no parientes (Figura 2b), estas diferencias no fueron significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de tipo II del parentesco y densidad de plantas sobre el despliegue floral. La interacción se evaluó utilizando efectos de tipo III. n= 1330.

Factores	χ^2	<i>P</i>
Parentesco	2.53	0.111
Densidad	0.08	0.783
Parentesco × Densidad	0.19	0.664

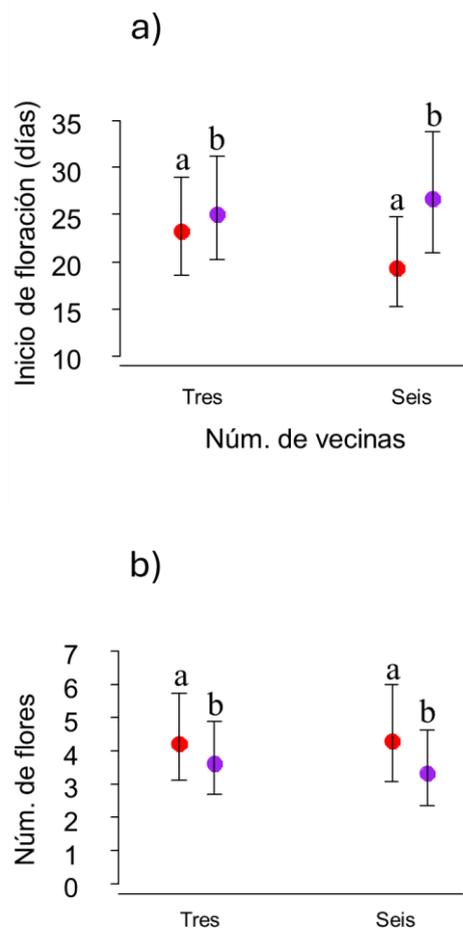


Figura 2. Media marginal (\pm 95% intervalo de confianza) del (a) inicio de floración y (b) número de flores abiertas por día de las plantas foco bajo diferentes vecindarios con 4 o 7 plantas vecinas compuestas por parientes (símbolos rojos) o no parientes (símbolos azules).

Comparación entre plantas solitarias y plantas con vecinas para cada nivel de densidad

Al comparar las plantas que crecieron con plantas vecinas respecto de las plantas que crecieron de forma solitaria se observó que existió un efecto social derivado de las interacciones con otras plantas y no sólo de la reducción de recursos producidos por la interferencia de otras plantas. Las plantas que se cultivaron con otras plantas vecinas adelantaron su floración en comparación con las plantas solitarias que crecieron en una cantidad de volumen de suelo proporcional al que disponían estas plantas en sus vecindarios (Figura 3; Tabla 4), pero no difirieron significativamente respecto a las plantas solitarias con mayor volumen de suelo (Figura 3). Los vecindarios de cuatro plantas con plantas emparentadas igualaron su inicio de floración a las plantas foco solitarias en macetas grandes (Figura 3a), sin embargo, los vecindarios de siete plantas florecieron significativamente antes que las plantas foco solitarias en macetas grandes (Figura 3b).

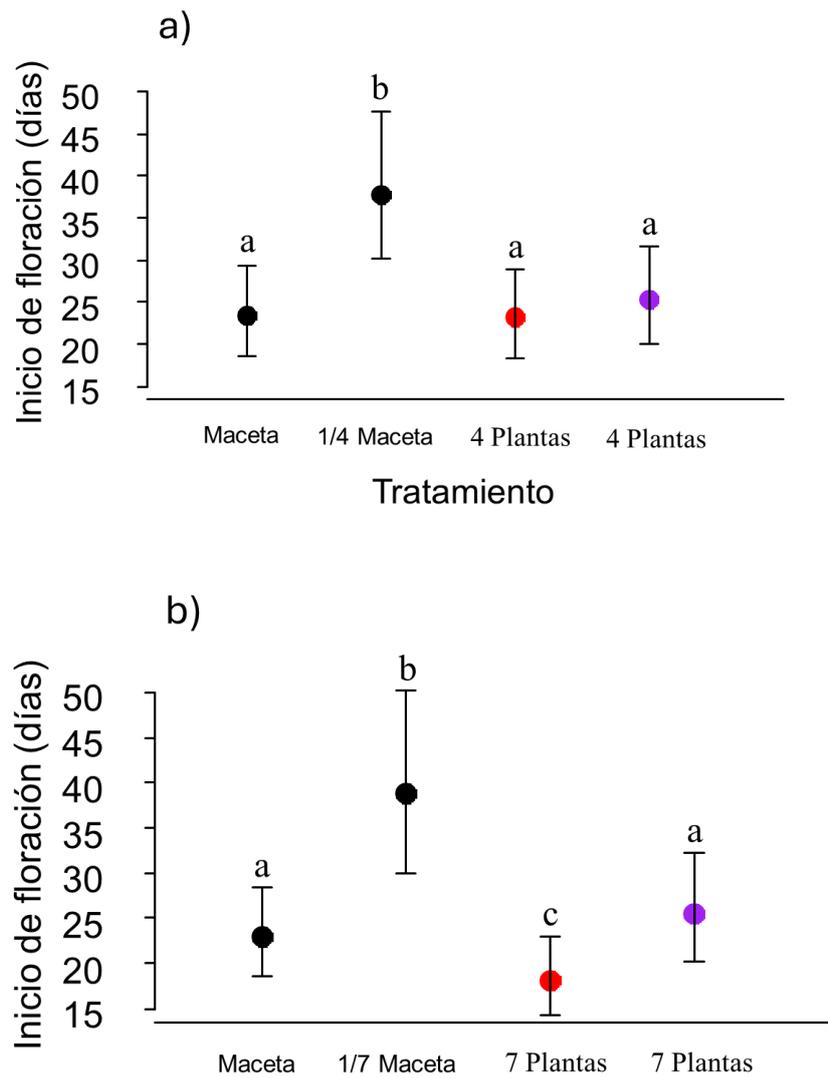


Figura 3. Media marginal (\pm 95% intervalo de confianza) del inicio de floración de plantas foco solitarias (símbolos negros) y bajo vecindarios de 4 plantas (a) y 7 plantas (b) compuestas por parientes (símbolos rojos) o no parientes (símbolos azules).

Tabla 4. Efecto del contexto social en vecindarios de 4 plantas y 7 plantas sobre el inicio de floración y el número medio de flores por día.

Variable	Comparación	n	χ^2	P
Inicio de floración	4 plantas	131	26.99	<0.001
Flores abiertas por día	4 plantas	1459	30.82	<0.001
Inicio de floración	7 plantas	104	67.25	<0.001
Flores abiertas por día	7 plantas	1156	60.90	<0.001

Aunque el número de flores abiertas por día fue significativamente mayor en las plantas solitarias cultivadas en las macetas de mayor tamaño que las plantas en vecindarios, las plantas foco tanto en los grupos de cuatro o siete plantas produjeron significativamente más flores que las plantas solitarias cuando estas crecieron en una proporción de suelo similar a la que le correspondería a cada una de las plantas de estos vecindarios si se repartieran el suelo de forma equitativa (Tabla 4 , Figura 4). En ambos casos ya sean vecindarios de cuatro o siete plantas produjeron más flores aquellas plantas foco que se encontraban en un vecindario rodeado de plantas parientes (Figura 4).

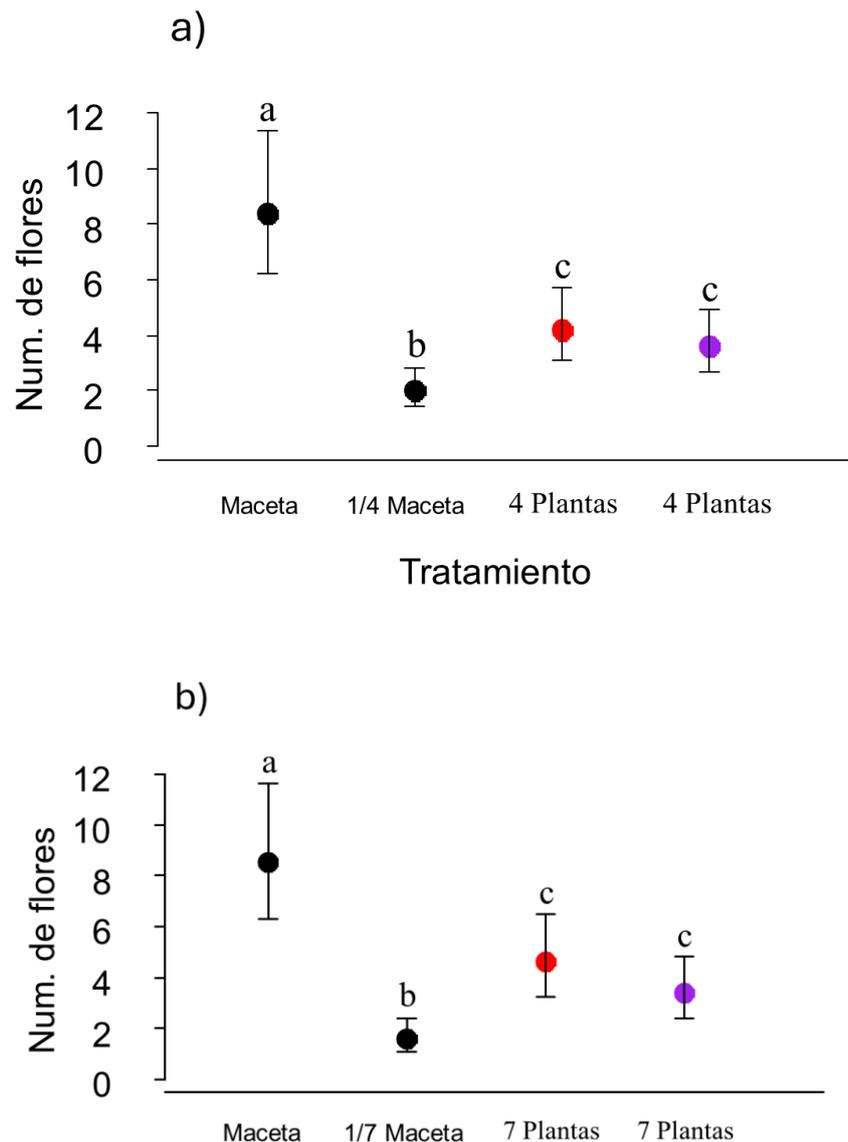


Figura 4. Media marginal (\pm 95% intervalo de confianza) del número de flores abiertas por día de plantas de plantas foco solitarias y bajo vecindarios de 4 plantas (a) y 7 plantas (b) compuestas por parientes (símbolos rojos) o no parientes (símbolos azules).

La modificación experimental del contexto social intraespecífico de este estudio permitió reforzar la idea de que esta especie de planta es capaz de reconocer la identidad genética de sus vecinos (Torices et al., 2018). Este estudio expande los efectos del vecindario a la fenología floral. En concreto, el inicio de floración estuvo muy condicionado por el entorno social en el que se desarrolla cada individuo. Las plantas pueden percibir muchos aspectos del medio ambiente mediante estímulos, la presencia de vecinos o la identidad de estos (Dudley, 2015). De esta forma se añade una nueva evidencia sobre la idea de que la plasticidad fenotípica de las plantas al entorno intraespecífico se puede interpretar como una forma de comportamiento.

La fenología de la floración es una estrategia adaptativa para asegurar que la producción de semillas ocurra antes de que los niveles de luz sean muy bajos (Vermeulen, 2015). Un modelo teórico predice que una mayor densidad de plantas debería favorecer un adelantamiento en el inicio de la floración dado que la señal para florecer llegaría antes en vecindarios de alta densidad, y las plantas necesitarían menos tiempo para alcanzar ese tamaño con el tiempo (Vermeulen, 2015). A medida que aumenta la densidad del vecindario la luz disponible por individuo disminuye. Este TFG apoya de forma parcial esta hipótesis, puesto que por un lado las plantas solitarias con más recursos fueron las que florecieron más temprano. Por otro lado, las plantas que crecieron en grupos florecieron significativamente más temprano que las plantas solitarias con un volumen de suelo proporcional al suelo que disponen las plantas en grupos indicando que cuando los recursos son homogéneos, un incremento de densidad acelera la floración.

Este modelo además predice que la competencia por los recursos entre plantas individuales conduzca a la selección de una mayor inversión en los órganos que adquieren recursos. Esto se debe a que llevaría a una mayor captura de recursos por parte de la planta individual, otorgándole una ventaja respecto a sus competidores (Vermeulen, 2015). Las plantas con mayor cantidad de recursos iniciaron antes su floración y produjeron mayor cantidad de flores, las plantas que crecieron en vecindarios florecen antes que las plantas solitarias con una proporción de suelo similar. Sin embargo, dentro de las plantas que crecieron en grupo se observó una diferencia del tipo de vecindario genético respecto a las plantas solitarias. Las plantas que crecieron con plantas hermanas tendieron a producir despliegues florales de mayor tamaño que las plantas que crecieron con plantas no emparentadas genéticamente. Este resultado está en la misma línea observada previamente en esta especie (Torices et al., 2018). Algunas plantas obtienen beneficios de la presencia de individuos de la misma especie. En estos casos, se observa el reconocimiento de parentesco en relación con rasgos competitivos y se obtiene beneficio a través de asociaciones grupales (Dudley, 2015). Si la respuesta a la familia es adaptativa o no, dependerá de las consecuencias de este tipo de respuesta en la eficacia biológica de la planta pudiendo llegar a interpretarse como un comportamiento altruista si el incremento del despliegue floral genera un incremento en el éxito reproductor de las plantas hermanas (Dudley, 2015). La asignación de biomasa por parte de las plantas a diferentes órganos y partes de su estructura, especialmente a las partes

vegetativas de la planta (hojas, tallos y raíces) en comparación con las estructuras reproductivas (flores, frutos y semillas), es un tema central en la teoría de la historia de vida de las plantas (Chen et al., 2023). Esto permite investigar el cambio de crecimiento a reproducción en el contexto de interacciones positivas entre individuos. Cuando los órganos reproductivos son pequeños, la energía excedente puede ser utilizada para ayudar a individuos relacionados (Chen et al., 2023). Investigaciones recientes sobre arroz han demostrado que el reconocimiento del parentesco en especies cultivadas puede mejorar los rendimientos de granos. Se asume que el mecanismo subyacente es la selección de parentesco, que reduce los efectos competitivos entre diferentes individuos debido a los compromisos entre la capacidad competitiva y la capacidad productiva. En otras palabras, las plantas con una capacidad competitiva débil pueden tener una alta capacidad productiva y, por lo tanto, una biomasa total de la planta alta (Chen et al., 2023).

CONCLUSIÓN

El estudio nos muestra que las plantas pueden ajustar sus estrategias reproductivas dependiendo de su contexto social. El comportamiento de las plantas es muy complejo y puede depender de la presencia de vecinos (Vandenbussche et al., 2005) y la identidad de los vecinos (Chen et al., 2012). Cuando la polinización depende de la densidad, la selección en el momento de la floración dependerá de la sincronía entre una planta focal y sus vecinas. De manera similar, las poblaciones de diferentes densidades o tamaños podrían experimentar diferentes selecciones sobre la fenología de la floración (Elzinga et al., 2007). A lo largo de esta investigación, se ha estudiado tanto plantas solitarias como plantas en un vecindario, acompañadas por vecinas parientes y vecinas sin parentesco, hemos obtenido evidencia significativa tanto en los procesos de inicio de la floración como en el despliegue floral de la mismas, que cambian cuando se encuentran en un contexto social intraespecífico. Esta respuesta no fue debida solamente a una variación en la disponibilidad de recursos ya que las plantas en vecindarios se diferenciaron de las plantas solitarias bajo una proporción de recursos y volumen edáficos proporcional a las plantas en vecindarios.

Algunas plantas pueden ser capaces de reconocer y ajustarse a su entorno intraespecífico que puede ser entendido como un contexto social que varía en función del número de vecinas y en algunos casos por su parentesco. Este estudio muestra a las plantas con una potencial respuesta a su entorno social y que por lo tanto podrían estar sujetas a procesos de selección por parentesco (Dudley, 2015). Las respuestas fenológicas podrían así, no sólo ser una respuesta a las condiciones ambientales abióticas de temperatura y disponibilidad de agua y nutrientes, si no que podrían estar condicionadas por el entorno de plantas competidoras de forma activa.

Para entender mejor estos procesos sociales se debería en un futuro estudiar estos mecanismos de reconocimiento de las plantas para conocer cómo se dan esos procesos física y químicamente. El

conocimiento de estos mecanismos permitiría una mejor comprensión de los procesos involucrados en las respuestas sociales de las plantas. Las posibles líneas de investigación futura deberían enfocarse en resolver cómo las plantas se reconocen entre sí, ya sea por reconocimiento con sustancias químicas o determinadas expresiones fenotípicas de las plantas. También realizar experimentos en diferentes condiciones ambientales variando la cantidad de agua, recursos disponibles, diferencias de temperatura, cambios en la humedad y el espacio entre individuos entre otras variables, para investigar cómo esta variabilidad puede afectar a las respuestas sociales y la expresión fenotípica, que podrían ser de utilidad en agricultura si se aprovecha para la producción de alimentos en cultivos agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bhatt, M. V., Khandelwal, A., & Dudley, S. A. (2011). Kin recognition, not Competitive Interactions, Predicts Root Allocation in Young *Cakile edentula* Seedling Pairs. *New Phytologist*, 189(4), 1135–1142.
- Callaway, R. (2002). The Detection of Neighbors by Plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 17, 104–105.
- Callaway, R. M., Pennings, S. C., & Richards, C. L. (2003). Phenotypic Plasticity and Interactions among Plants. *Ecology*, 84(5), 1115–1128.
- Chen, R., Shi, C., Zhang, L., Tu, C., & Weiner, J. (2023). Potential Role of Kin Selection in the Transition From Vegetative to Reproductive Allocation in Plants. *Journal of Plant Ecology*, 16(6), rtad025.
- Dauber, J., Biesmeijer, J. C., Gabriel, D., Kunin, W. E., Lamborn, E., Meyer, B., Nielsen, A., Potts, S. G., Roberts, S. P. M., Söber, V., Settele, J., Steffan-Dewenter, I., Stout, J. C., Teder, T., Tscheulin, T., Vivarelli, D., & Petanidou, T. (2010). Effects of Patch Size and Density on Flower Visitation and Seed Set of Wild Plants: A Pan-European Approach. *Journal of Ecology*, 98(1), 188–196.
- Dudley, S. A. (2015). Plant Cooperation. *AoB Plants*, 7, plv113.
- Elzinga, J. A., Atlan, A., Biere, A., Gigord, L., Weis, A. E., & Bernasconi, G. (2007). Time After Time: Flowering Phenology and Biotic Interactions. *Trends in Ecology and Evolution* 22(8), 432–439.
- Gómez, Jose. M. (1996). Predispersal Reproductive Ecology of an Arid Land Crucifer, *Moricandia Moricandioides*: Effect of Mammal Herbivory on Seed Production.
- Laverty, T. M. (1992). Plant Interactions for Pollinator Visits: a Test of the Magnet Species Effect. *Oecologia*, 89(4), 502–508.
- Loveless, M. D., & Hamrick, J. L. (1984). Ecological Determinants of Genetic Structure in Plant Populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, 65–95.
- Mack, R. N., & Harper, J. L. (1977). Interference in Dune Annuals: Spatial Pattern and Neighbourhood Effects. *Journal of Ecology*, 65, 345.
- Moeller, D. A. (2004). Facilitative Interactions Among Plants via Shared Pollinators. *Ecology* 85, 12, 3289–3301.
- Munguía-Rosas, M. A., Ollerton, J., Parra-Tabla, V., & De-Nova, J. A. (2011). Meta-analysis of Phenotypic Selection on Flowering Phenology Suggests that Early Flowering Plants are Favoured. *Ecology Letters* 14(5), 511–521.
- Murphy, G. P., & Dudley, S. A. (2009). Kin recognition: Competition and Cooperation in *Impatiens* (Balsaminaceae). *American Journal of Botany*, 96(11), 1990–1996.
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Sobrino-Vesperinas, E., Castroviejo, S., Aedo, C., Laínz, M., Garmendia, M. F., Feliner, N. G., Paiva, J., & Benedí, C. (1993). *Flora Ibérica*. Real Jardín botánico, CSIC.
- Torices, R., De Soto, L., Narbona, E., Gómez, J. M., & Pannell, J. R. (2021). Effects of the Relatedness of Neighbours on Floral Colour. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9.
- Torices, R., Gómez, J. M., & Pannell, J. R. (2018). Kin discrimination Allows Plants to Modify Investment Towards Pollinator Attraction. *Nature Communications*, 9(1).

- Van Schaik, C. P., Terborgh, J. W., & Wright, S. Joseph. (1993). The Phenology of Tropical Forests: Adaptive Significance and Consequences for Primary Consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24, 353-377.
- Vandenbussche, F., Pierik, R., Millenaar, F. F., Voesenek, L. A. C. J., & Van Der Straeten, D. (2005). Reaching out of the shade. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(5), 462-468.
- Vermeulen, P. J. (2015). On Selection for Flowering Time Plasticity in Response to Density. *New Phytologist*, 205(1), 429-439.