



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

FACULTAD DE ECOLOGÍA MARINA

MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES Y ECOLOGÍA

Variación estacional en la respuesta de un cultivo monoico por aumento de temperatura y fertilización

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Ecología

CON ORIENTACIÓN EN:
Ecología y Conservación

P R E S E N T A

MARIBEL LÓPEZ ATANACIO

Dirección de tesis:

Director: M.C. Blanca Lorena Alemán Figueroa

Co-director: Dr. Víctor Manuel Rosas Guerrero

Comité evaluador:

Dr. José Gabriel Kuk Dzul

Dr. Giovanni Hernández Flores

Dra. Mariana Xolotl Álvarez Añorve



Acapulco de Juárez, Guerrero, México, Junio de 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

FACULTAD DE ECOLOGÍA MARINA

MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES Y ECOLOGÍA

Variación estacional en la respuesta de un cultivo monoico por aumento de temperatura y fertilización

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Ecología

CON ORIENTACIÓN EN:
Ecología y Conservación

P R E S E N T A

MARIBEL LÓPEZ ATANACIO

Dirección de tesis:

Director: M.C. Blanca Lorena Alemán Figueroa
Co-director: Dr. Víctor Manuel Rosas Guerrero

Comité evaluador:

Dr. José Gabriel Kuk Dzul
Dr. Giovanni Hernández Flores
Dra. Mariana Xolotl Álvarez Añorve

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios, por guardarme y protegerme siempre y por todas las grandes y maravillosas bendiciones que me concede cada día y por su ayuda para poder culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

Agradezco enormemente a mi directora y codirector, M. C. Blanca Lorena Alemán Figueroa y Dr. Víctor Manuel Rosas Guerrero, primeramente, por su amistad y la confianza que me han brindado. Gracias por haber asesorado esta investigación y por todo lo que me han enseñado para mi crecimiento académico y por todo el apoyo que siempre he recibido de ustedes, los estimo mucho.

A mi esposo, compañero y amigo Rodrigo Lucas, te agradezco por tu apoyo incondicional que siempre tienes para mí, gracias por ser la persona que me animo y me motivo a seguir estudiando, tú eres un gran ejemplo en mi vida y durante esta etapa fuiste alguien fundamental. Gracias por toda tu ayuda en campo y por las palabras de ánimo (aún más cuando nos teníamos que levantar muy de madrugada para embolsar las flores), gracias también por tu ayuda con los análisis estadísticos. Muchas gracias por siempre estar para mí. Te amo.

Agradezco a mis Padres Onésimo y Margarita por su apoyo, sus oraciones y por la confianza que me han brindado siempre, gracias papá por ayudar en la construcción de mis cámaras OTC.

Agradezco a mis amigos y compañeros, por el apoyo brindado y por su ayuda en campo, gracias a José Antonio Gama Salgado (Gama), Fernando Severiano Galeana (Ferchis), Ana Hernández López (Yube), Carlos Yair de la O, sinceramente gracias chamacos.

A los miembros del comité, Dr. José Gabriel Kuk Dzul, Dr. Giovanni Hernández Flores y Dra. Mariana Xolotl Álvarez Añorve por cada sugerencia, cometarios y contribuciones para mejorar esta investigación.

A mi preciada Universidad Autónoma de Guerrero, en especial a la Maestría en Recursos Naturales y Ecología, por permitirme llevar a cabo mis estudios de posgrado.

También le doy gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría (CVU: 1005173).

DEDICATORIA

A mi amado esposo por todo tu amor, cariño y apoyo incondicional, por estar siempre al pendiente de mí, por todos tus cuidados y atenciones, por los momentos y experiencias que hemos vivido, por el ejemplo de esfuerzo y dedicación que me has dado, sin duda eres un gran ejemplo para mí, de verdad te admiro tanto y me siento muy orgullosa de ti.

A mi pequeña y amada Yudi por llenar mi vida de amor y mucha alegría, por ser el complemento que faltaba en nuestras vidas y por convertirte en una motivación para esforzarme más y dar siempre lo mejor de mí, trataré siempre de ser un buen ejemplo para ti, te amo hermosa Yudi.

Índice

Agradecimientos	III
Dedicatoria	IV
Índice de figuras	VI
Resumen	1
1. Introducción	2
2. Materiales y métodos	4
2.1 Sitio experimental	4
2.2 Especie de estudio	5
2.3 Diseño experimental	5
2.4 Rasgos vegetativos y florales	7
2.5 Visitantes florales legítimos	8
2.6 Éxito reproductivo	8
2.7 Análisis estadístico	9
3. Resultados	10
3.1 Rasgos vegetativos	10
3.2 Rasgos florales	12
3.3 Visitantes florales legítimos	16
3.4 Éxito reproductivo	20
4. Discusión	21
5. Referencias	26
Anexos	40

Índice de figuras

Figura 1. Sitio de campo que muestra (A) OTC construidos con madera y plástico de polietileno transparente, y (B) cada tratamiento dentro (temperatura aumentada) y afuera (temperatura ambiente) OTC sin fertilización (amarillo), con orgánico (rojo) o sintético (azul) fertilización. 7

Figura 2. Temperatura promedio diaria registrada dentro (cuadrados negros) y fuera (triángulos grises) del OTC durante la estación seca (A) y la húmeda (B). Las líneas sólidas representan promedios diarios y estacionales, respectivamente. 10

Figura 3. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre la altura de la planta (A, B), área foliar (C, D) y número de hojas producidas por planta (E, F) de *C. pepo* durante la estación seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1. 11

Figura 4. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre el número de flores (A, B), diámetro de corola (C, D) y concentración de azúcar (E, F) de flores pistiladas de *C. pepo* durante la estación seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1. 13

Figura 5. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre el número de flores (A, B), diámetro de corola (C, D) y concentración de azúcar (E, F) de flores estaminadas de *C. pepo* durante la estación seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1. 15

Figura 6. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre la proporción de flores pistiladas de *C. pepo* durante la época poco lluviosa (A) y lluviosa (B) (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1. 16

Figura 7. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre las visitas florales legítimas (A, B) y duración de la visita (C, D) en flores pistiladas de *C. pepo* durante la época seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

18

Figura 8. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre las visitas florales legítimas (A, B) y duración de la visita (C, D) en flores estaminadas de *C. pepo* durante la época seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

19

Figura 9. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre el cuajado (A, C) y el número de semillas por fruto (B, D) de *C. pepo* durante la época seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

21

Resumen

El aumento de la temperatura puede afectar el éxito reproductivo de las plantas directamente al alterar los rasgos vegetativos o reproductivos, e indirectamente al modificar las interacciones entre las plantas y sus polinizadores debido a cambios en los rasgos florales o recompensas. Por otro lado, la adición de fertilizantes puede mejorar la cantidad y/o calidad de las recompensas florales, lo que podría aumentar las visitas de polinizadores y, en consecuencia, aumentar el éxito reproductivo de las plantas. Sin embargo, aún se desconoce si la fertilización puede contrarrestar los efectos del aumento de la temperatura sobre las características vegetativas, florales y reproductivas de las plantas. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la lombricomposta y el fertilizante sintético sobre las características vegetativas y florales, así como sobre la tasa de visitantes florales legítimos y el éxito reproductivo de la calabaza, bajo un escenario de aumento de temperatura. Durante las épocas seca y lluviosa se evaluó la altura, número de hojas y flores, área foliar, día de floración, diámetro de corola, concentración y volumen de néctar, cuajado de frutos y número de semillas en 120 plantas de calabaza distribuidas en seis tratamientos de forma bifactorial. diseño: temperatura (temperatura ambiente y elevada) y fertilización (lombricomposta, fertilizante sintético y sin fertilización). Un aumento de ~1.5 °C y la fertilización adicional favorecieron la altura de la planta, el número de hojas, flores pistiladas y estaminadas, el tamaño de la flor, la concentración de néctar, el número de visitas legítimas a las flores pistiladas y el número de semillas por fruto. Sin embargo, un aumento en el número de flores pistiladas no se relaciona con una mayor producción de frutos (en ambas estaciones) o una mayor producción de semillas (en la estación seca). Los impactos positivos en las características vegetativas y florales debido al aumento de la temperatura fueron muy variables entre estaciones, lo que sugiere una gran variación temporal en las respuestas de las plantas a la temperatura y la disponibilidad de nutrientes.

1. Introducción

El cambio climático provoca una mayor variabilidad climática, lo que afecta la producción de cultivos y, por lo tanto, la provisión de alimentos en todo el mundo (Lobell et al., 2011; Ochieng et al., 2016; Tubiello et al., 2007). En particular, se espera que el aumento de la temperatura global esperado a corto plazo (es decir, 1,2-1,8 °C de 2021 a 2040; IPCC, 2022) afecte la fisiología, la fenología y el rendimiento de varias plantas (Hedhly et al., 2009; Peñuelas y Filella, 2001; Prasad et al., 2015; Schweiger et al., 2010). Por ejemplo, se ha encontrado que el aumento de la temperatura aumenta el aborto de las flores y modifica el tamaño de sus órganos reproductores (Gérard et al., 2020; Sato et al., 2006; Scaven y Rafferty, 2013), disminuye la cantidad de néctar y calidad (Descamps et al., 2018; Keasar et al., 2008; Mu et al., 2015; Petanidou y Smets, 1996; Takkis et al., 2015), y reduce la dehiscencia de las anteras o la viabilidad del polen (Descamps et al., 2018; Fahad et al., 2015). Esto, a su vez, puede disminuir el número de visitas y la riqueza de polinizadores florales, lo que resulta en una menor producción de frutos y semillas (Hoover et al., 2012; Kerr et al., 2015; Scaven y Rafferty, 2013; Schweiger et al., 2010).

Por otro lado, diferentes estudios han demostrado que el aporte de nutrientes en el suelo aumenta la producción y el tamaño de las flores, alarga el período de floración y mejora la calidad y cantidad del néctar (Burkle y Irwin, 2010; Gardener y Gillman, 2001; Hoover et al., 2012; Lau y Stephenson, 1993; Muñoz et al., 2005). Dado que los polinizadores muestran una mayor preferencia por plantas que presentan un mayor despliegue floral (Mitchell et al., 2004), flores más grandes (Conner y Rush, 1996) o flores con mejor calidad en recompensas (Cnaani et al., 2006); la fertilización del suelo beneficiará potencialmente la interacción de las plantas con sus polinizadores y, por lo tanto, su éxito reproductivo (D. R. Campbell y Halama, 1993; Fernandez et al., 2019; Hoover et al., 2012). Por ejemplo, las plantas fertilizadas de *Ipomopsis aggregata* produjeron flores más grandes y más néctar, tuvieron períodos de floración más prolongados y recibieron más visitas que las plantas no fertilizadas (Burkle e Irwin 2010). De manera similar, las plantas de *Chuquiraga oppositifolia* expuestas al

enriquecimiento con nitrógeno produjeron más flores que las plantas de control, lo que benefició la frecuencia de las visitas de los polinizadores (Muñoz et al., 2005).

A pesar de estos beneficios, la adición de nutrientes al suelo a través de fertilizantes sintéticos, provocó importantes problemas ambientales como la contaminación del agua y la degradación del suelo (Armenta-Bojórquez et al., 2010; C. Lu y Tian, 2017). Alternativamente, los fertilizantes orgánicos además de aportar nutrientes, también mejoran las características físicas del suelo (Moreno Reséndez et al., 2008), estimulan la presencia de microorganismos benéficos (Ferreras et al., 2015), y aumentan la resistencia al estrés térmico (Carreto-Morales et al., 2021; Fahad et al., 2015) sin efectos adversos sobre el medio ambiente. En concreto, la lombricomposta es un abono orgánico obtenido de la transformación de diferentes residuos orgánicos por la actividad de lombrices y microorganismos (Domínguez, 2018; Moreno Reséndez et al., 2008), que es rico en nutrientes, mejora la porosidad del suelo, permite una mayor humedad retención, promueve la presencia de microorganismos benéficos (Bachman y Metzger, 2008; Moreno Reséndez et al., 2005; Ramos Oseguera et al., 2019), y mejora algunos aspectos del desarrollo de las plantas (Hashemimajd et al., 2004; Ramos Oseguera et al., 2019), incluidos los rasgos asociados con las visitas de polinizadores. Por ejemplo, las plantas de pepino crecidas en suelos enriquecidos con vermicompost mostraron flores más pesadas que las plantas testigo (Cardoza et al., 2012), mientras que en *Hylotelephium maximum* el volumen y la concentración de néctar de las flores, así como el número de visitas y la abundancia de polinizadores fue mayor en sustratos enriquecidos con vermicompost que en plantas control (Jusselme et al., 2019).

Aunque la fertilización orgánica puede mejorar el crecimiento y la aptitud de las plantas, sus efectos sobre la biología floral, las visitas de los polinizadores y el éxito reproductivo ante el aumento de las temperaturas aún se desconocen en las plantas cultivadas, incluida la calabaza, *Cucurbita pepo*, que es una especie de gran importancia económica. cultivada en todo el mundo (Hoover et al., 2012). En este estudio, comparamos experimentalmente el efecto de la lombricomposta y la

fertilización sintética sobre la altura de la planta, el área foliar, el número de hojas, los días hasta la floración, el número de flores, la proporción de flores pistiladas, el tamaño de las flores, el volumen y la concentración de néctar, la tasa de visitas de visitantes florales legítimos, duración de la visita, cuajado y número de semillas por fruto bajo un escenario de aumento de temperatura en la calabaza. Al ser esta especie completamente dependiente de los polinizadores para fructificar (Shuler et al., 2005), se espera que sea particularmente susceptible al cambio climático, como se ve en varias especies dependientes de polinizadores (Kevan y Viana, 2003; Kjøhl et al., 2011).

Específicamente, hicimos las siguientes preguntas: (1) ¿El aumento de la temperatura ambiente afecta las características vegetativas y florales, la atracción de polinizadores y el éxito reproductivo de la calabaza? Si es así, (2) ¿puede la adición de nutrientes mitigar los efectos adversos del aumento de la temperatura en estos rasgos? y (3) ¿existen diferencias en estos efectos entre plantas con fertilización orgánica y sintética? Pronosticamos que el aumento de la temperatura afectará negativamente las características vegetativas y florales de la calabaza, provocando una disminución en la atracción de polinizadores y, por ende, una reducción en el éxito reproductivo del cultivo. Además, esperamos que la adición de nutrientes disminuya estos efectos adversos causados por el aumento de la temperatura, y que la fertilización orgánica sea mejor que la fertilización sintética para reducir estos efectos.

2. Materiales y métodos

2.1. Sitio experimental

Se utilizó como sitio experimental una parcela agrícola ubicada en Técpán de Galeana, Guerrero, México ($17^{\circ}13'01.7''$ N, $100^{\circ}38'38.1''$ O). La zona presenta un clima cálido subhúmedo (Aw), temperatura media anual de 26.6°C , con una máxima de 32°C en abril-mayo y una mínima de 18°C en diciembre-enero, una precipitación media anual de 1100 mm con un período lluvioso de junio a noviembre (precipitación ≈ 950 mm), y

un período seco de diciembre a mayo (precipitación < 70 mm) y una altitud de 50 msnm (INEGI, 2009).

2.2. *Especie de estudio*

Cucurbita pepo es una planta herbácea monoica anual, que presenta flores con corolas grandes (González et al., 2010), florece en las mañanas y las flores permanecen abiertas hasta el mediodía (L. G. Campbell et al., 2013; Devi et al., 2015). Las flores masculinas aparecen primero y dependen de los insectos para transportar su polen a las flores femeninas (González et al., 2010; Shuler et al., 2005). El rango de temperatura para un desarrollo óptimo oscila entre 18 y 28 °C y muestra preferencia por lugares cálidos y húmedos (Salehi et al., 2019). La adición de nutrientes es un factor importante para su crecimiento (Castagnino et al., 2007), afectando significativamente el rendimiento y la calidad del fruto (Rodas-Gaitán et al., 2012). En este estudio, semillas comerciales de calabaza var. zucchini (Distribuidora Rancho Los Molinos S.A. DE C.V., Tepoztlán, Morelos, México).

2.3. *Diseño experimental*

Para evaluar los efectos combinados de la temperatura y la fertilización sobre las características vegetativas y florales, la visita de polinizadores y el éxito reproductivo de *C. pepo*, se utilizó un diseño experimental completamente al azar en un arreglo factorial 2x3. Los factores considerados fueron: (1) temperatura (temperatura ambiente y aumentada) y (2) fertilización (orgánica, sintética y sin fertilizar). Considerando la variación en la composición de polinizadores entre la época seca y la época lluviosa (Delgado-Carrillo et al., 2018), el experimento se realizó en ambas épocas del año 2020 (época seca: abril–julio; época lluviosa: agosto–octubre). Los seis tratamientos se repitieron 20 veces ($n = 120$ plantas por cada estación).

Para aumentar la temperatura de las plantas sembradas se utilizaron veinte cámaras de techo abierto (OTC) con estructura de madera y polietileno transparente (calibre 600, Figura 1A). Estos OTC han sido ampliamente utilizados para estudiar la respuesta de las plantas al cambio climático en diferentes ecosistemas, aumentando la

temperatura ambiente entre 0,7 y 4 °C (Aerts et al., 2004; Klanderud, 2005; Ren et al., 2010). A lo largo del experimento, la temperatura a 10 cm sobre el suelo junto a las plantas dentro y fuera de los OTC se registró todos los días a intervalos de una hora con un registrador automático de temperatura y humedad (HOBO MX2301, Onset Computer Corporation, MacArthur Blvd, Bourne, MA 02532, EE. UU). La distancia entre cada arreglo (con OTC y sin OTC) fue de dos metros, y cada uno tenía tres plantas (una de cada tratamiento de fertilización, marcadas con etiquetas de diferentes colores), con una distancia entre plantas de 50 cm (Figura 1B). Todas las plantas recibieron 1,5 l de agua al día, excepto los días de lluvia.

La fertilización orgánica consistió en 500 g de lombricomposta (Fernatol®, Alchichica, Puebla, 73998, México) agregados por planta 5 días antes de la siembra (DAS), mientras que la fertilización sintética se aplicó utilizando 30 g de un producto comercial (Blaukorn Classic, Campo Expert, Zapopan, Jalisco, 45239, México) por planta 15 DAS.

Las semillas se sembraron el 14 de abril (época seca) y el 14 de agosto (época lluviosa), en bolsas de polietileno negro de 35 x 35 cm. Las bolsas se llenaron con 5 kg de tierra agrícola de la zona, mezcladas homogéneamente y distribuidas aleatoriamente en las bolsas. Se colocaron dos semillas de calabaza en cada bolsa y se asignaron aleatoriamente a los tratamientos de fertilización. La germinación de las plántulas comenzó a los 5 DDS y las hojas verdaderas aparecieron a los 10 DDS. En este momento, se eliminó la planta más corta. Durante todo el experimento, las plantas permanecieron en las bolsas, las cuales fueron enterradas en el suelo a una profundidad de 30 cm.

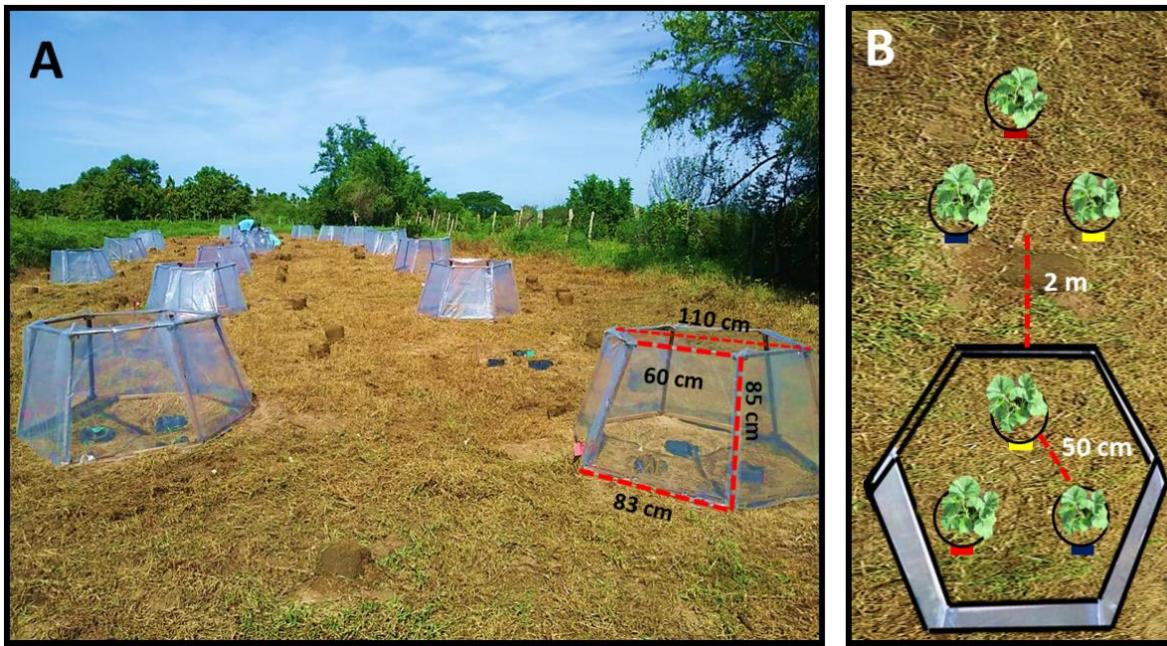


Figura 1. Sitio de campo que muestra (A) OTC construidos con madera y plástico de polietileno transparente, y (B) cada tratamiento dentro (temperatura aumentada) y afuera (temperatura ambiente) OTC sin fertilización (amarillo), con orgánico (rojo) o sintético (azul) fertilización.

2.4. Rasgos vegetativos y florales

El efecto del aumento de la temperatura y la fertilización sobre las características vegetativas se evaluó midiendo las siguientes variables de respuesta: (1) altura de la planta, (2) número de hojas por planta y (3) área foliar de la hoja más grande de cada planta. El área foliar se estimó con el software ImageJ (<http://imagej.nih.gov/ij/>) a partir de una fotografía de la hoja tomada con una cámara de 13 megapíxeles (LG, Q6 Plus, LG Electronics México, S.A. de C.V., Tlalnepantla de Baz, Estado de México, 54033, México), colocadas perpendiculares a la hoja sobre fondo blanco y escala milimétrica. Todas las mediciones se realizaron a los 30 DDS.

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la biología floral de *C. pepo*, se midieron las siguientes variables de respuesta: (1) días a la floración – el número de días desde la germinación hasta que apareció la primera flor estaminada y la primera flor pistilada, (2) número de flores – flores estaminadas y pistiladas a lo largo de la etapa de floración, (3) proporción de flores pistiladas – pistiladas / pistiladas + flores estaminadas, (4) diámetro de la corola, (5) diámetro del tubo floral, (6) longitud del tubo

floral, (7) ancho del pétalo (del pétalo más grande), (8) longitud de los estambres, (9) longitud del pistilo, (10) volumen de néctar y (11) concentración de néctar (Figura S1). Los tamaños de las muestras varían debido a la disponibilidad de flores diarias (rango de flores pistiladas y estaminadas: 1-3 flores y 2-7 flores por planta, respectivamente). Para las medidas de tamaño se utilizó un calibrador digital (Mitutoyo Corp., CD-8" ASXL, Kanagawa, Japón, precisión de 0,01 mm). El volumen y la concentración de néctar se midieron en flores seleccionadas al azar y embolsadas antes de la antesis (es decir, 5:30 h), cada hora de 6:30 a 10:30 h, usando tubos microcapilares graduados respectivamente y un refractómetro digital (Atago, Master -53α, Tokio, Japón, ° Brix 0-50, precisión de $\pm 0,2\%$).

2.5. Visitantes florales legítimos

Se estudió el efecto de la temperatura y la fertilización sobre la atracción de visitantes florales legítimos filmando en días soleados flores simples estaminadas y pistiladas de *C. pepo*. Una hora de inicio de filmación, respectivamente a las 7:30 y 8:00 h en la estación seca y lluviosa, que corresponden a las horas pico de alimentación de la mayoría de los visitantes florales. El número de horas filmadas varió entre estaciones debido a la disponibilidad de flores, para la estación lluviosa fue de 110 horas (6-14 horas por tratamiento), mientras que para la estación seca fue de 74 horas (3-10 horas por tratamiento). Para cada visita floral se registraron tres variables: (1) especie de visitante floral (al nivel taxonómico más bajo posible), (2) duración de la visita y (3) contacto con los órganos reproductivos de la flor. Solo aquellos visitantes que entraron en contacto con los órganos reproductivos de la flor fueron considerados para los análisis. Se recolectaron tres individuos de cada visitante floral para su identificación utilizando la guía de especies de abejas y la lista de verificación mundial (Asher y Pickering, 2020). Durante los períodos de filmación de polinizadores, se eliminaron los OTC para evitar cualquier posible sesgo en las tasas de visitas entre tratamientos (p. ej., Adamson y Iler, 2021).

2.6. Éxito reproductivo

Se estimó el cuajado de frutos para probar el efecto del incremento de nutrientes y temperatura sobre el éxito reproductivo de la planta. Cinco días después de la floración, se revisaron todas las flores pistiladas para evaluar la formación de frutos. Los frutos producidos se cosecharon 10 días después de la apertura floral y se contó el número de semillas maduras.

2.7. Análisis estadístico

Teniendo en cuenta que los caracteres florales (diámetro de la corola, diámetro del tubo floral, longitud del tubo floral, ancho de los pétalos y longitud de los estambres o longitud del estilo-estigma) medidos en flores pistiladas y estaminadas se correlacionaron en ambas épocas ($r>0.140$, $p <0.05$ en todas las comparaciones; Figura S2-S5), solo se utilizó el diámetro de la corola como indicador del tamaño de la flor. Se realizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) para analizar los efectos de la temperatura, la fertilización y sus interacciones sobre la altura de la planta, el volumen de néctar y la concentración de azúcar en la estación seca y el diámetro de la corola para ambas estaciones, ya que los datos muestran una distribución normal y homocedasticidad. Se realizaron modelos lineales generalizados (GLM) con una distribución de error de Poisson y una función de enlace logarítmico para comparar el número de hojas, el número de días hasta la floración, el número de flores, el número de visitas de visitantes florales legítimos y el número de semillas por fruto entre tratamientos. Para la duración de las visitas, se realizó un GLM con una distribución binomial negativa debido a la sobredispersión. Dado que cada flor recibió más de una visita y no todas procedían de una flor o planta diferente, los datos correspondientes a la duración de las visitas incluían pseudoreplicaciones. Para altura de planta, volumen de néctar y concentración de azúcar en época de lluvias y área foliar para ambas épocas se realizó un GLM con distribución gamma y función de enlace logit. Para el cuajado se realizó un GLM con distribución binomial y función de enlace logit, mientras que para la proporción de flores pistiladas los datos se transformaron con la raíz cuadrada y luego se analizaron con GLM con distribución gaussiana. Cuando los rasgos florales se midieron en más de una flor por planta, estos valores se promediaron para obtener un valor por planta. Todos los análisis se realizaron en el software InfoStat

(InfoStat versión 2020, Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

3. Resultados

Durante la época seca se registró una temperatura promedio de 28.08 y 29.64 °C en el ambiente y dentro del OTC, respectivamente, y un aumento promedio diario de 1.56 °C (Figura 2A), mientras que en la época de lluvias se registró una temperatura promedio de 28.51 °C. y 30.02 °C en el ambiente y dentro del OTC, respectivamente, y un incremento promedio diario de 1.51 °C (Figura 2B).

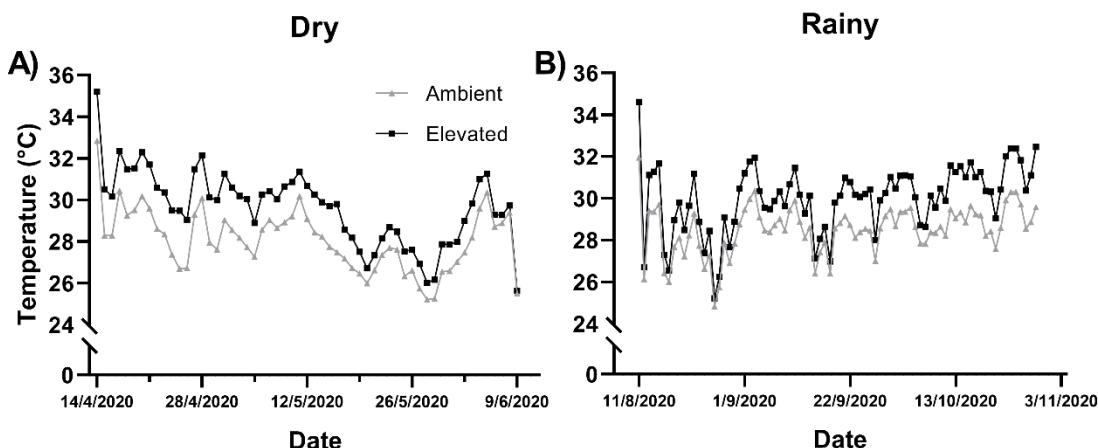


Figura 2. Temperatura promedio diaria registrada dentro (cuadrados negros) y fuera (triángulos grises) del OTC durante la estación seca (A) y la húmeda (B). Las líneas sólidas y punteadas representan promedios diarios y estacionales, respectivamente.

3.1. Rasgos vegetativos

Las plantas de calabaza bajo una mayor temperatura crecieron más altas en ambas estaciones (Figura 3A-B) y produjeron más hojas en la estación seca (Figura 3E) que las plantas a temperatura ambiente. Las plantas fertilizadas sintéticamente crecieron más en la temporada de lluvias (Figura 3B), produjeron hojas más grandes en ambas temporadas que las plantas cultivadas con fertilizante orgánico o sin fertilizante (Figura 3C-D), y produjeron más hojas que las plantas de control en ambas temporadas (Figura 3E –F). Las plantas cultivadas con fertilizante orgánico producen

plantas más altas (Figura 3B) y hojas más grandes en la temporada de lluvias (Figura 3D) que las plantas de control.

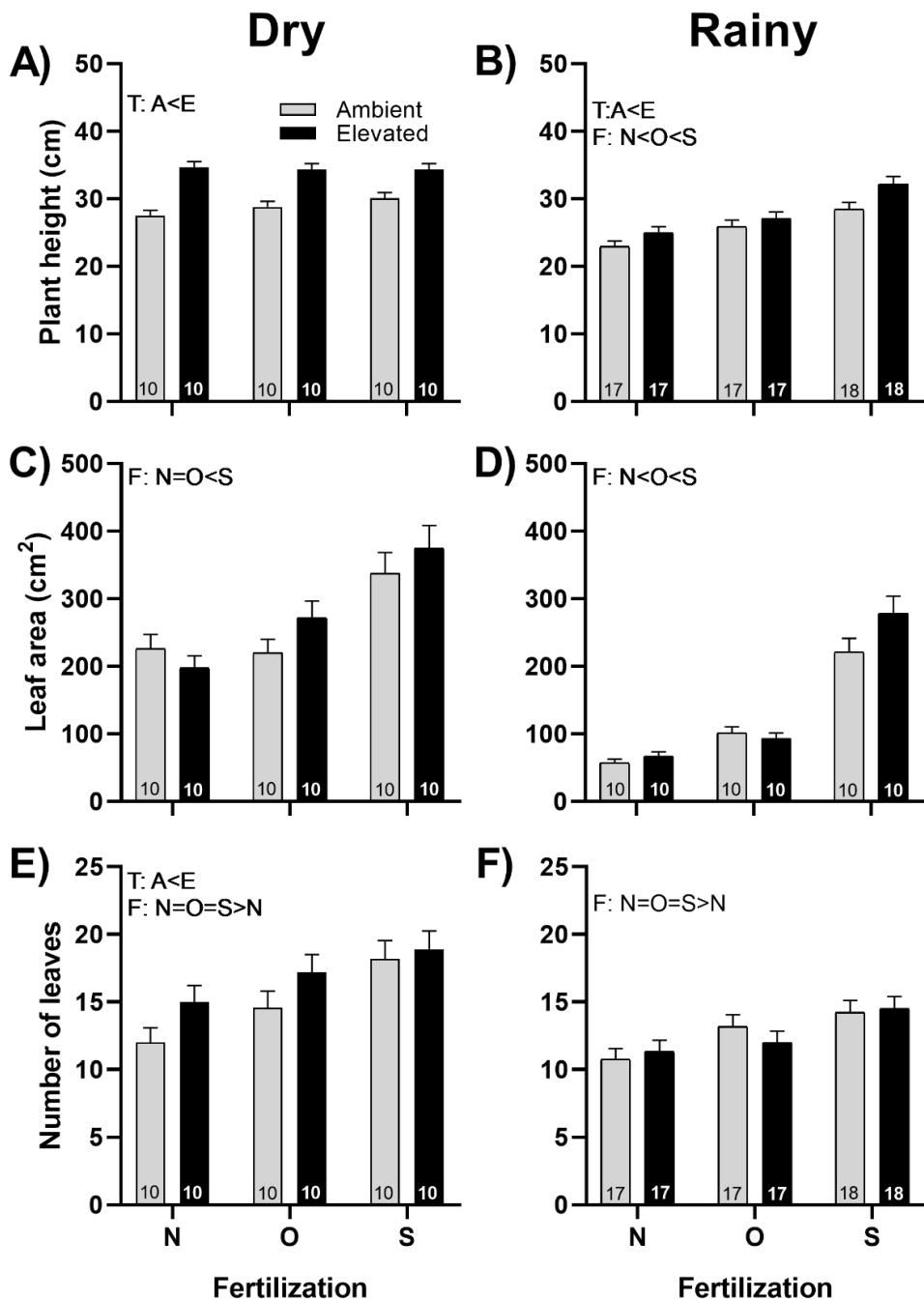


Figura 3. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre la altura de la planta (A, B), área foliar (C, D) y número de hojas producidas por planta (E, F) de *C. pepo* durante la estación seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

3.2. Rasgos florales

Flores pistiladas

Las plantas a mayor temperatura produjeron más flores pistiladas en ambas estaciones (Figura 4A-B), fueron de mayor tamaño en la estación lluviosa (Figura 4D) y produjeron néctar más concentrado en la estación seca (Figura 4E) que las plantas a temperatura ambiente. Las plantas con fertilización sintética producen más flores pistiladas en ambas estaciones (Figura 4A-B) y flores más grandes en la estación lluviosa (Figura 4D) que las plantas con fertilizante orgánico y sin fertilizante. Se encontró una interacción significativa entre la temperatura y la fertilización en la concentración de azúcar del néctar de las flores pistiladas en la época seca (Figura 4E, Tabla S1). No se encontraron diferencias para las flores femeninas en el momento de la floración o el volumen de néctar entre tratamientos en ninguna estación.

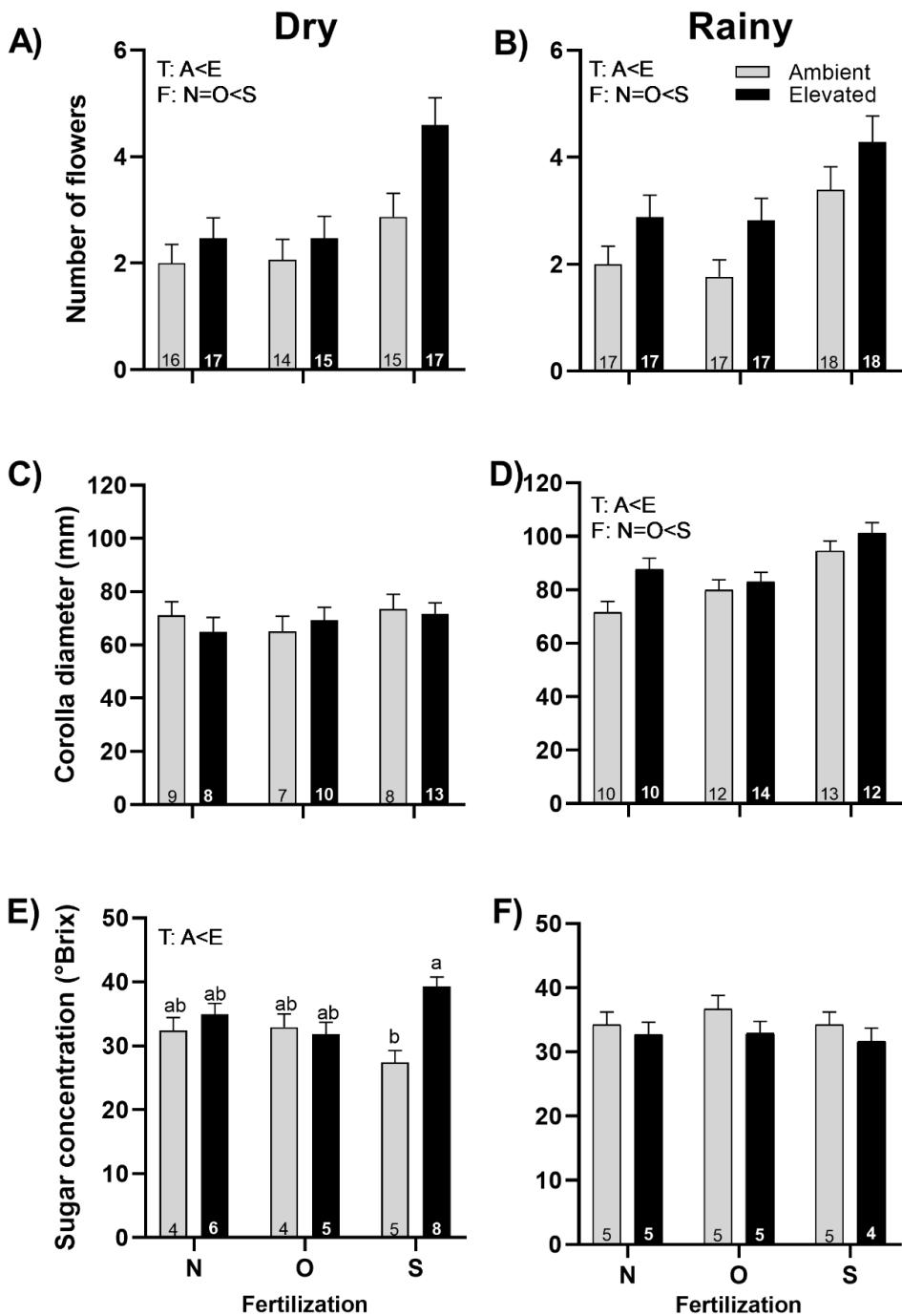


Figura 4. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre el número de flores (A, B), diámetro de corola (C, D) y concentración de azúcar (E, F) de flores pistiladas de *C. pepo* durante la estación seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

Flores estaminadas

Las plantas en OTC produjeron más flores estaminadas en la estación lluviosa (Figura 5B), florecieron antes en la estación seca (Tabla S1), fueron de mayor tamaño en ambas estaciones (Figura 5C-D) y produjeron néctar con mayor concentración en la estación seca. temporada (Figura 5E) que las plantas a temperatura ambiente. En la estación seca, las plantas con fertilizante orgánico produjeron más flores masculinas que las plantas con fertilizantes sintéticos o sin fertilizantes (Figura 5A), pero produjeron néctar con menor concentración que las flores sin fertilizantes (Figura 5E). Se produjo una interacción significativa entre la temperatura y la fertilización en la estación seca en el número de flores producidas por planta (Figura 5A). Por otro lado, no se encontraron diferencias en la época de floración, volumen de néctar o concentración de néctar entre tratamientos en época de lluvias.

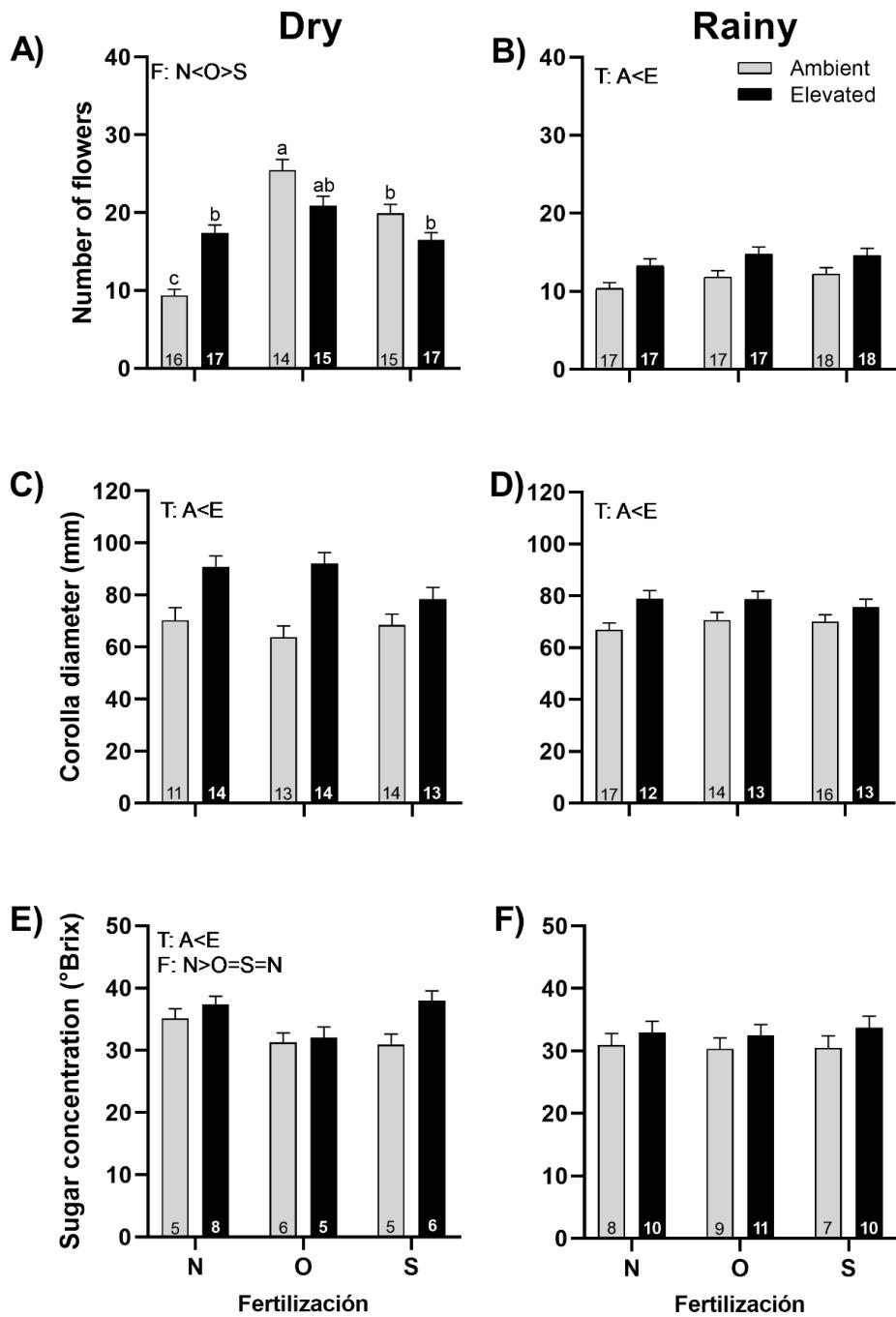


Figura 5. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre el número de flores (A, B), diámetro de corola (C, D) y concentración de azúcar (E, F) de flores estaminadas de *C. pepo* durante la estación seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

Proporción sexual de flores

La proporción de flores pistiladas fue mayor en las plantas con temperatura elevada en ambas estaciones (Figura 6A-B) que en las plantas a temperatura ambiente. Las plantas con fertilizante sintético mostraron un aumento en la proporción de flores pistiladas en comparación con las plantas con fertilización orgánica en ambas épocas (Figura 6A-B) y con plantas sin fertilizar en la época de lluvias (Figura 6B). No se detectó interacción para ambos factores (Tabla S1).

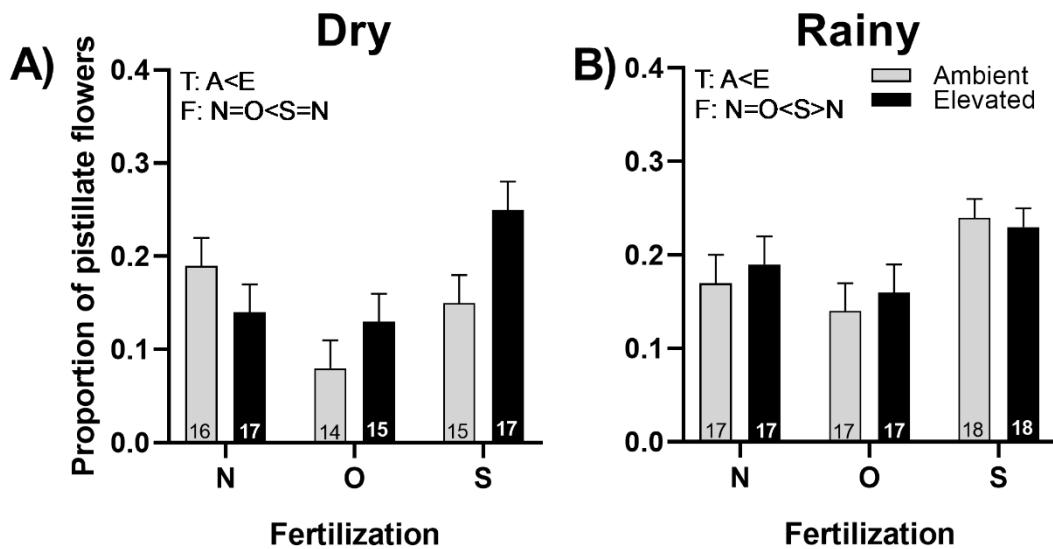


Figura 6. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre la proporción de flores pistiladas de *C. pepo* durante la época poco lluviosa (A) y lluviosa (B) (media ± SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

3.3. Visitantes florales legítimos

Se registraron un total de 1010 visitas legítimas (es decir, aquellas que contactan anteras y estigma), 403 de ellas fueron observadas en la estación seca, correspondientes a tres taxones: abeja melífera (*Apis mellifera*, 179 visitas: ~4 visitas/flor), abejas sudorosas (abejas Halictidae, 137 visitas: ~2 visitas/flor) y abejas carpinteras (*Xylocopa*, 87 visitas: ~1 visita/flor); mientras que en la temporada de lluvias se registraron 607 visitas legítimas, siendo las abejas de la calabaza, *Peponapis*, el visitante más dominante (429 visitas: ~4,5 visitas/flor), seguido de las

abejas sudorosas (134 visitas: ~1,5 visitas/flor), y *A. mellifera* (44 visitas: ~0,5 visitas/flor).

Las flores pistiladas de las plantas a temperatura elevada recibieron más visitas que las flores de las plantas a temperatura ambiente en época de lluvias (Figura 7B), aunque la duración de las visitas no se vio afectada por el aumento de temperatura en ambas épocas (Figura 7C-D). En la estación seca, las flores femeninas de plantas fertilizadas orgánicamente recibieron más visitas (Figura 7A), y los visitantes duraron más que las flores de plantas fertilizadas sintéticamente (Figura 7C). Por el contrario, en la temporada de lluvias, las flores femeninas de las plantas no fertilizadas recibieron más visitas (Figura 7B) y los visitantes duraron más (Figura 7D) que las flores de las plantas fertilizadas. Una interacción significativa entre la temperatura y la fertilización ocurrió en el número de visitas legítimas en la estación seca (Figura 7A) y en la duración de las visitas en la estación lluviosa (Figura 7D).

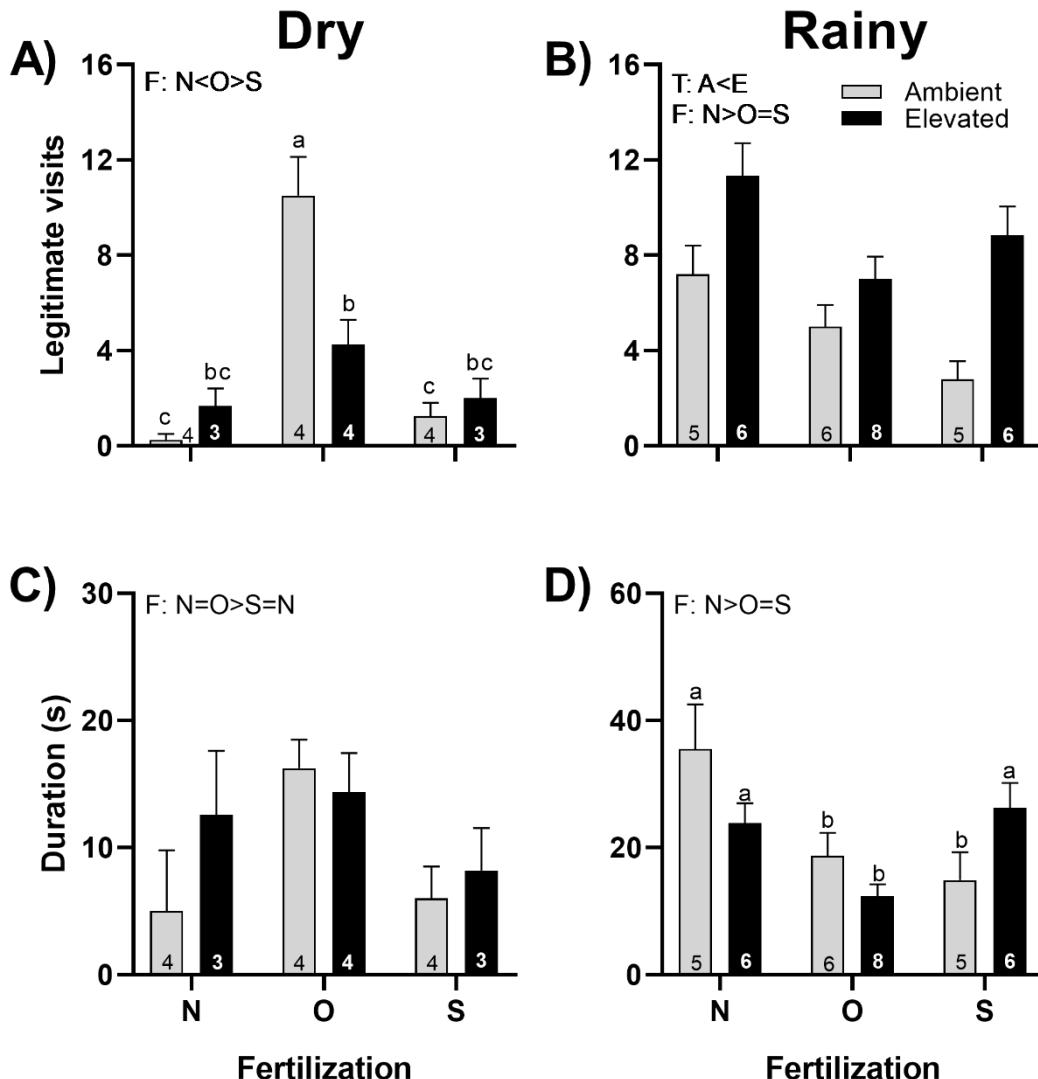


Figura 7. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre las visitas florales legítimas (A, B) y duración de la visita (C, D) en flores pistiladas de *C. pepo* durante la época seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

En ambas temporadas, las flores estaminadas de las plantas a mayor temperatura recibieron un número similar de visitas (Figura 8A-B) pero tuvieron una duración más corta que las flores de las plantas a temperatura ambiente en la temporada de lluvias (Figura 8D). En la estación seca, las flores estaminadas de plantas fertilizadas sintéticamente recibieron menos visitas (Figura 8A), y los visitantes duraron menos (Figura 8C) que las flores estaminadas de plantas no fertilizadas; mientras que en

época de lluvias la fertilización no afectó el número de visitas ni la duración (Figura 8B, D). Hubo una interacción ($T \times F$) en el número de visitas legítimas en ambas temporadas y en la duración de las visitas en la estación seca (Figura 8A-C; Tabla S1).

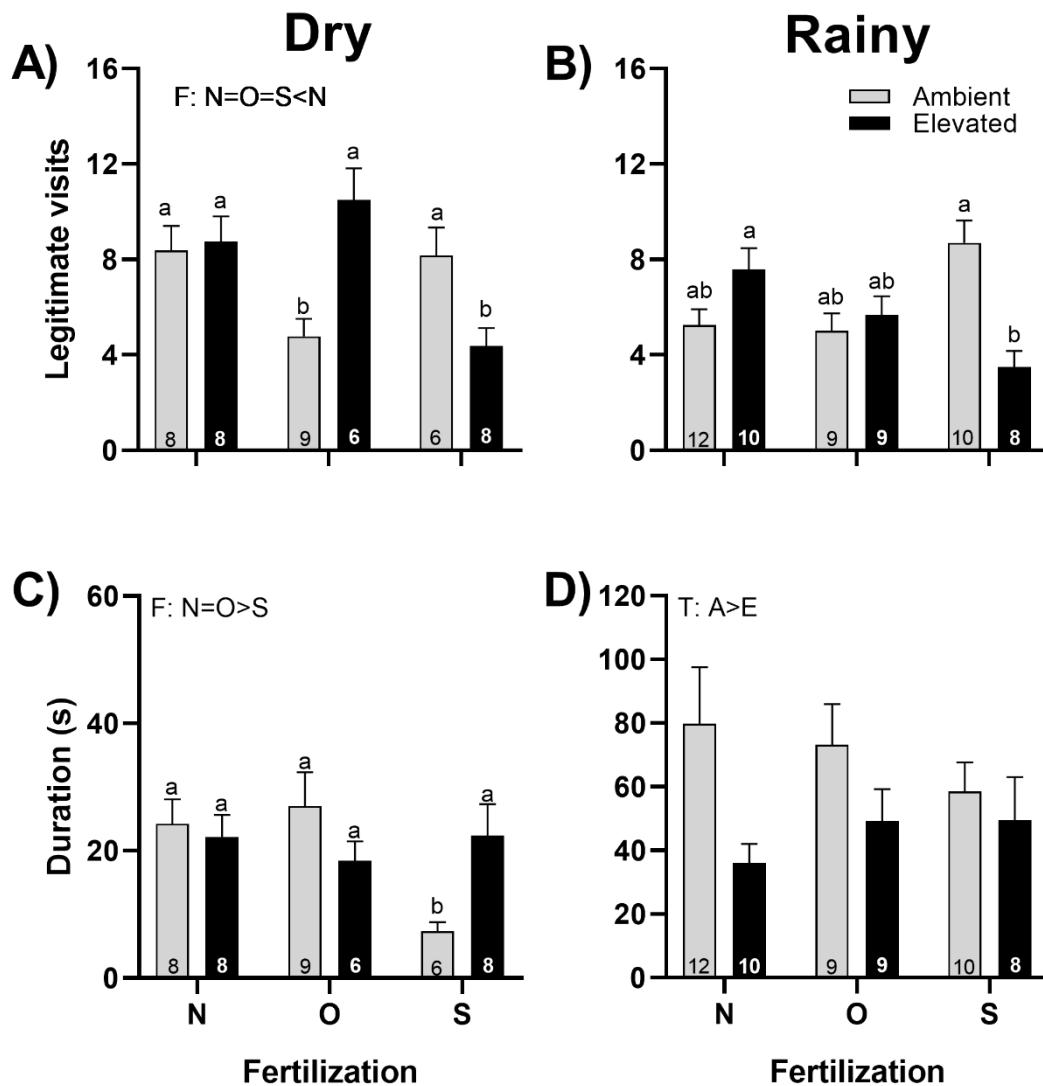


Figura 8. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre las visitas florales legítimas (A, B) y duración de la visita (C, D) en flores estaminadas de *C. pepo* durante la época seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

3.4. Éxito reproductivo

Incluso cuando el aumento de la temperatura no alteró el cuajado de frutos en ninguna estación (Figura 9A–B), sí aumentó el número de semillas producidas por fruto en la estación lluviosa en comparación con la temperatura ambiente (Figura 9D). Por otro lado, la adición de fertilización orgánica durante la época poco lluviosa incrementó el amarre de frutos en comparación con aquellos con fertilización sintética (Figura 9A), pero el número de semillas por fruto fue el más bajo en comparación con los otros tratamientos (Figura 9C). El número de semillas por fruto fue menor en las plantas no fertilizadas en época de lluvias; mientras que las plantas con fertilizantes sintéticos produjeron más semillas que las plantas con fertilización orgánica (Figura 9D). Se detectó una interacción significativa entre la temperatura y la fertilización en la producción de semillas en ambas temporadas (Figura 9C–D).

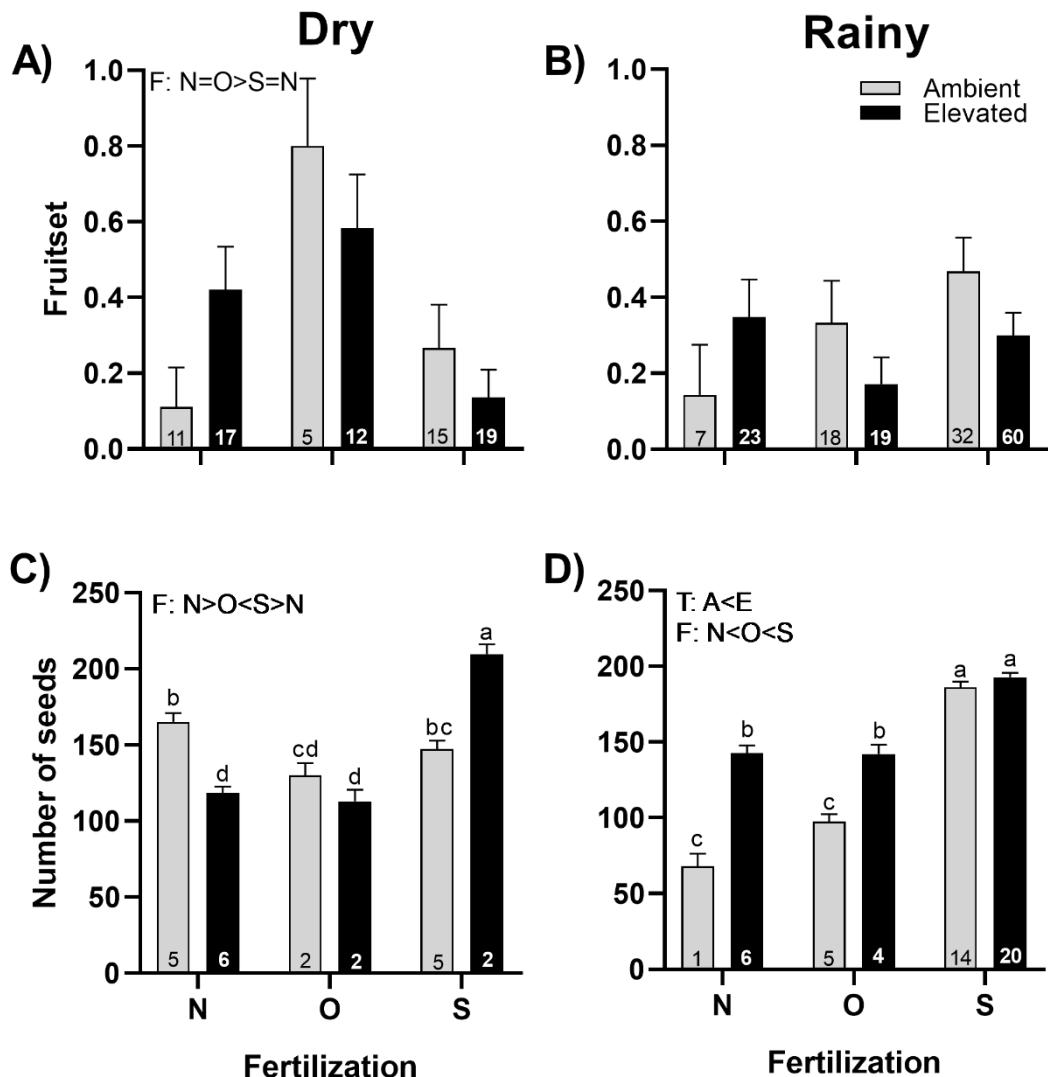


Figura 9. Efectos del aumento de temperatura (T) y adición de fertilización (F) sobre el cuajado (A, C) y el número de semillas por fruto (B, D) de *C. pepo* durante la época seca y lluviosa (media \pm SE; n: número dentro de la barra). Las diferencias significativas en los principales factores (T y F) se representan con letras mayúsculas (A = temperatura ambiente, E = temperatura elevada, N = sin fertilización, O = fertilización orgánica, S = fertilización sintética). Diferentes letras minúsculas sobre las barras indican interacciones T x F estadísticamente significativas. Los resultados de las pruebas estadísticas se resumen en la Tabla S1.

4. Discusión

Usando un sistema modelo de calabaza durante dos temporadas, hemos demostrado que el calentamiento climático y la fertilización tuvieron impactos significativos en los rasgos vegetativos y florales, así como en su interacción con sus

polinizadores y, en consecuencia, en el éxito reproductivo de esta planta de cultivo dependiente de polinizadores. Contrariamente a nuestras predicciones, encontramos que el aumento de la temperatura ambiente influyó positivamente en varias características vegetativas, florales y reproductivas de esta hortaliza, y que la fertilización orgánica, en general, no fue mejor que la fertilización sintética para mejorar esas características. Curiosamente, encontramos una gran variación entre las estaciones en la respuesta de la calabaza al aumento de la temperatura y la adición de fertilizantes en varias características, incluida la atracción de visitantes florales legítimos y el éxito reproductivo de la planta.

Los experimentos previos sobre el impacto del aumento de la temperatura en el crecimiento, las características florales, la atracción de polinizadores y el éxito reproductivo se han centrado principalmente en plantas templadas o alpinas (p. ej., Aerts et al., 2004; Klanderud, 2005; Ren et al., 2010; Liu et al., 2012; Mu et al., 2015; Feeley et al., 2017; Adamson e Iler, 2021). A diferencia de la mayoría de estos estudios, nuestros resultados indican que un aumento moderado de la temperatura ambiente ($\sim 1,5^{\circ}\text{C}$) tiene efectos positivos en esta planta tropical, incluida la altura de la planta, el número de hojas, el número de flores pistiladas y estaminadas, tamaño de flor, concentración de néctar, número de visitas legítimas a flores pistiladas, número de semillas por fruto y reducción de la duración de las visitas a flores estaminadas. Varios estudios han encontrado que un aumento en la temperatura (0.7 a 4 $^{\circ}\text{C}$), afecta negativamente el atractivo de las plantas para sus polinizadores debido a una disminución en el crecimiento, producción y tamaño de las flores, y la producción y calidad del néctar (Descamps et al., 2018, 2020; Hoover et al., 2012; Liu et al., 2012; Mu et al., 2015; Petanidou y Smets, 1996; Sato et al., 2006; Scaven y Rafferty, 2013; Takkis et al., 2015). Las discrepancias con estos resultados pueden deberse a que estos estudios se han centrado en plantas de regiones templadas (es decir, latitudes superiores a 32°), donde se esperan cambios de temperatura más drásticos (Feeley et al., 2017; IPCC, 2022). Es importante señalar que la respuesta de las plantas templadas es diferente a la de las plantas tropicales (Feeley et al., 2017; Garruña-Hernández et al., 2014), ya que estas últimas tienen valores de temperatura umbral

más altos que las primeras (Driedonks et al., 2016; Wahid et al. 2007). La sensibilidad al calor por lo general difiere entre los tipos de cultivos, siendo más tolerantes aquellos cultivares tropicales adaptados a temperaturas más altas que sus contrapartes templadas (Driedonks et al., 2016).

El aumento en el número de hojas (en la época seca) y/o el tamaño de las plantas (en ambas épocas) expuestas a mayor temperatura puede provocar un aumento en las características florales debido a una mayor actividad fotosintética y un aumento en el número de fotoasimilados. que favorecen la producción y proporción de flores pistiladas, el tamaño de las flores estaminadas y la concentración de azúcar en el néctar (Han et al., 2011; Pôrto et al., 2012; Queiroga et al., 2007; Weiner et al., 2009). Sin embargo, un aumento en el número de flores pistiladas no necesariamente se relaciona con un mayor amarre de frutos (en ambas épocas) o una mayor producción de semillas (en la época poco lluviosa). Esto puede deberse a que el cuajado y la producción de semillas también están influenciados por la viabilidad, disponibilidad y compatibilidad del polen depositado en los estigmas (Borbolla-Perez et al., 2016; Sato et al., 2006). Por ejemplo, cuando se cultivó tomate a temperaturas moderadamente elevadas, se redujo el cuajado de frutos y la viabilidad del polen (Sato et al., 2006). Solo durante la estación seca, las flores pistiladas y estaminadas a temperatura elevada producen néctar con mayor concentración, probablemente debido a la menor cantidad de agua de lluvia y la menor humedad del aire encontrada en esta estación (63.10% en el ambiente y 60.93% dentro de la OTC, mientras que en época de lluvias 82,22% y 78,30% fuera y dentro de la OTC, respectivamente).

Por otro lado, como se esperaba, la adición de fertilizantes mejora algunas características vegetativas (es decir, altura de la planta, número de hojas, área foliar), florales (es decir, número de flores, tamaño de la flor) y reproductivas (es decir, fructificación, número de semillas). Dado que las plantas monoicas, como la calabaza, poseen flores unisexuales, los efectos del aumento de la temperatura y la fertilización pueden ser diferentes para la función masculina y femenina (L. G. Campbell et al., 2013; Dorken y Barrett, 2004; Goldman y Willson, 1986; Hoover et al., 2012). Por

ejemplo, el aumento en el número de semillas puede resultar de un aumento en la asignación de recursos de fertilizantes a la función femenina (D. R. Campbell y Halama, 1993). Dado que el desarrollo de frutos y semillas requiere una mayor cantidad de recursos en comparación con la función masculina (L. G. Campbell et al., 2013; Goldman y Willson, 1986), las plantas más grandes (es decir, aquellas que crecieron a temperatura elevada y con fertilización) podrían invertir más recursos para la función femenina que las plantas más pequeñas (es decir, plantas de control; ver Han et al., 2011). Por lo tanto, con suficientes nutrientes, las plantas de calabaza invierten más recursos en el desarrollo de semillas, ya que más semillas se traducen en un mayor éxito reproductivo. Además, esas plantas pueden invertir más recursos en la producción de recompensas florales como el polen y el néctar. Sin embargo, contrariamente a nuestras expectativas, encontramos que el volumen de néctar no varió con el aumento de la temperatura o la fertilización. Aunque la producción de néctar suele ser costosa (Southwick, 1984), varios estudios han demostrado que los cambios en la producción de néctar no siempre están influenciados por cambios en la disponibilidad de recursos (David et al., 2019). En cambio, la edad y el sexo de la flor, el período de floración y la posición de la flor en la planta son algunos factores que pueden influir en la producción de néctar (N.-N. Lu et al., 2015). Además, las plantas con producción de néctar variable serían menos preferidas por los polinizadores y, en consecuencia, recibirían menos visitas (Biernaskie et al., 2002). Por lo tanto, es probable que una producción constante de néctar, independientemente de las condiciones de nutrientes, pueda ser una estrategia para mantener visitas constantes de polinizadores, incluso a expensas de una menor producción de otros rasgos florales, como el número o el tamaño de las flores (Flacher et al., 2020), como se ve en este estudio, donde la fertilización sí afecta el número y tamaño de las flores, principalmente pistiladas.

Tanto la cantidad y calidad de las recompensas como el número y tamaño de las flores influyen en la atracción a los polinizadores (Akter et al., 2017; Biella et al., 2019; Kudo y Harder, 2005). Nuestro estudio mostró que un aumento en la temperatura ambiente y/o la fertilización aumentó el número y tamaño de las flores y la concentración de

azúcar en el néctar. Estas modificaciones pueden explicar el aumento en el número de visitas de flores pistiladas en época de lluvias y la menor duración de las visitas a flores estaminadas en época seca, ya que los polinizadores suelen permanecer más tiempo en las flores para obtener la mayor cantidad de recursos nutricionales posibles. cuando la abundancia de flores es baja (Aguado et al., 2019; Ortiz-sánchez y Tinaut, 1994). Similar a Chen et al. (2021), encontramos que la fertilización orgánica incrementó el número de visitas (en época seca), probablemente porque la materia orgánica de este estiércol contiene una mezcla más diversa de micro y macronutrientes en comparación con los fertilizantes sintéticos; lo que promueve una mayor cantidad de nutrientes que podrían destinarse a mejorar el atractivo floral, favoreciendo la visita de polinizadores (Fernandez et al., 2019). Del mismo modo, Cardoza et al. (2012) encontraron que las flores de pepino tratadas con vermicompost recibieron más visitas de polinizadores probablemente porque la fertilización con vermicompost promueve señales volátiles en las flores más que señales visuales.

Sorprendentemente, encontramos significativamente más semillas por fruto en la temporada de lluvias en aquellas plantas enriquecidas con fertilización que recibieron menos visitas de visitantes florales legítimos. A diferencia de la época seca, los polinizadores más frecuentes en la época lluviosa fueron las abejas del género *Peponapis*, las cuales se especializan en la polinización de la calabaza (López-Uribe et al., 2016). Se ha informado que una sola visita de *Peponapis* es óptima para un buen cuajado de frutos en calabaza (Delgado-Carrillo et al., 2018), por lo que una sola visita puede ser suficiente para la formación de semillas debido a su excelente eficiencia como polinizador. Sin embargo, no está claro por qué las flores pistiladas de plantas fertilizadas en la temporada de lluvias recibieron menos visitas de abejas que las plantas no fertilizadas.

Rara vez se observaron interacciones entre la temperatura y la fertilización en ambas temporadas, excepto en la atracción de polinizadores (i.e., número y duración de las visitas) y el número de semillas por fruto. Por ejemplo, encontramos que el número de visitas a las flores pistiladas en la estación seca se incrementó a temperatura ambiente

y con la adición de fertilizantes orgánicos, mientras que en las flores estaminadas ocurre lo contrario. También encontramos una disminución en la duración de las visitas a flores pistiladas y estaminadas en plantas a temperatura ambiente con fertilización sintética en la época de lluvias y secas, respectivamente. Estos resultados indican que la temperatura y la fertilización tendrán efectos complejos y múltiples sobre los polinizadores que apenas estamos vislumbrando y comprendiendo.

Se destaca que un pequeño aumento de 1,5 °C en la temperatura ambiente tendrá impactos positivos en las características vegetativas y florales y tendrá implicaciones directas en el éxito reproductivo a través del aumento en la producción de semillas debido a un aumento en la visita de polinizadores. Sin embargo, es importante señalar que estos efectos varían entre estaciones, lo que sugiere una gran variación temporal en las respuestas de las plantas a la temperatura y la disponibilidad de nutrientes. Incluso cuando las plantas tropicales pueden ser menos vulnerables a temperaturas más altas que las plantas templadas, se necesitan estudios sobre la respuesta de sus interactuantes (mutualistas y antagonistas) para comprender si las especies de plantas eran propensas a persistir en escenarios de cambio climático. Además, más estudios deberían examinar los efectos de otros impulsores principales del cambio global (por ejemplo, la deposición de nitrógeno, el aumento del dióxido de carbono atmosférico; Hoover et al. 2012) en los cultivos principales para tener una mejor visión de lo que depara el futuro en términos de seguridad alimentaria.

Referencias

Adamson, C. P., y Iler, A. (2021). Open-top warming chambers reduce animal pollination of two subalpine herbs. *Journal of Pollination Ecology*, 29, 231–239.

[https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2021\)638](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2021)638)

Aerts, R., Cornelissen, J. H. C., Dorrepaal, E., Van Logtestijn, R. S. P., y Callaghan, T. V. (2004). Effects of experimentally imposed climate scenarios on flowering phenology and flower production of subarctic bog species. *Global Change Biology*, 10(9), 1599–1609.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00815.x>

Aguado, D., Gutierrez-Chacón, C., y Muñoz, M. C. (2019). Estructura funcional y patrones de especialización en las relaciones planta-polinizador de un agroecosistema en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 331–342.

<https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.73177>

Akter, A., Biella, P., y Klecka, J. (2017). Effects of small-scale clustering of flowers on pollinator foraging behaviour and flower visitation rate. *PLOS ONE*, 12(11), e0187976.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187976>

Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., y Nava-Pérez, E. (2010). Role of biofertilizers in the agricultural development in Mexico. *Ra Ximhai*, 6(1), 51–56.

Asher, J. S., y Pickering, J. (2020). *Discover life bee species guide and world checklist (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila)*.

http://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species%0A%0A

Bachman, G. R., y Metzger, J. D. (2008). Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology*, 99(8), 3155–3161.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.069>

Biella, P., Akter, A., Ollerton, J., Tarrant, S., Janeček, Š., Jersáková, J., y Klecka, J. (2019). Experimental loss of generalist plants reveals alterations in plant-pollinator interactions and a constrained flexibility of foraging. *Scientific Reports*, 9(1), 7376.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-43553-4>

Biernaskie, J. M., Cartar, R. V., y Hurly, T. A. (2002). Risk-averse inflorescence departure in hummingbirds and bumble bees: could plants benefit from variable nectar volumes? *Oikos*, 98(1), 98–104. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980110.x>

Borbolla-Perez, V., Iglesias-Andreu, L. G., Herrera-Cabrera, B. E., y Vovides-Papalouka, A. (2016). Aborción prematura de frutos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*, 9(9), 11–13.

Burkle, L. A., y Irwin, R. E. (2010). Beyond biomass: measuring the effects of community-level nitrogen enrichment on floral traits, pollinator visitation and plant reproduction. *Journal of Ecology*, 98(3), 705–717. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01648.x>

Campbell, D. R., y Halama, K. J. (1993). Resource and Pollen Limitations to Lifetime Seed Production in a Natural Plant Population. *Ecology*, 74(4), 1043–1051. <https://doi.org/10.2307/1940474>

Campbell, L. G., Luo, J., y Mercer, K. L. (2013). Effect of water availability and genetic diversity on flowering phenology, synchrony and reproductive investment in summer squash. *Journal of Agricultural Science*, 151(6), 775–786. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000731>

Cardoza, Y. J., Harris, G. K., y Grozinger, C. M. (2012). Effects of Soil Quality Enhancement on Pollinator-Plant Interactions. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2012/581458>

Carreto-Morales, E. Y., López-Díaz, J. A., Martínez-Castrejón, M., Talavera-Mendoza, O., Almazán-Núñez, R. C., y Hernández-Flores, G. (2021). Sewage sludge from Taxco de

Alarcón wastewater treatment plant as substrate to cultivate *Panicum maximum*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 38(3), 164–177.

<https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2021.3.1617>

Castagnino, A. M., Díaz, K. E., Sastre, P., y Navarro, M. (2007). Respuesta de plántulas de Cucurbita pepo var. Scallop a la fertilización fosfórica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 214–221.

Chen, K., Fijen, T. P. M., Kleijn, D., y Schepers, J. (2021). Insect pollination and soil organic matter improve raspberry production independently of the effects of fertilizers.

Agriculture, Ecosystems y Environment, 309(December 2020), 107270.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107270>

Cnaani, J., Thomson, J. D., y Papaj, D. R. (2006). Flower Choice and Learning in Foraging Bumblebees: Effects of Variation in Nectar Volume and Concentration. *Ethology*, 112(3), 278–285. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2006.01174.x>

Conner, J. K., y Rush, S. (1996). Effects of flower size and number on pollinator visitation to wild radish, *Raphanus raphanistrum*. *Oecologia*, 105(4), 509–516.

<https://doi.org/10.1007/BF00330014>

David, T. I., Stork, J., y Stevens, C. J. (2019). Understanding how changing soil nitrogen affects plant–pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, 13(5), 671–684.

<https://doi.org/10.1007/s11829-019-09714-y>

Delgado-Carrillo, O., Martén-Rodríguez, S., Ashworth, L., Aguilar, R., Lopezaraiza-Mikel, M., y Quesada, M. (2018). Temporal variation in pollination services to Cucurbita

moschata is determined by bee gender and diversity. *Ecosphere*, 9(11), e02506.

<https://doi.org/10.1002/ecs2.2506>

Descamps, C., Marée, S., Hugon, S., Quinet, M., y Jacquemart, A. (2020). Species-specific responses to combined water stress and increasing temperatures in two bee-pollinated congeners (Echium, Boraginaceae). *Ecology and Evolution*, 10(13), 6549–6561.

<https://doi.org/10.1002/ece3.6389>

Descamps, C., Quinet, M., Baijot, A., y Jacquemart, A.-L. (2018). Temperature and water stress affect plant-pollinator interactions in Borago officinalis (Boraginaceae). *Ecology and Evolution*, 8(6), 3443–3456. <https://doi.org/10.1002/ece3.3914>

Devi, S., Gulati, R., Tehri, K., y Poonia, A. (2015). Effect of different modes of pollination on yield parameters of Allium cepa L. *Journal of Entomological Research*, 39(2), 111. <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2015.00004.3>

Domínguez, J. (2018). Earthworms and Vermicomposting. In *Earthworms - The Ecological Engineers of Soil*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76088>

Dorken, M. E., y Barrett, S. C. H. (2004). Phenotypic plasticity of vegetative and reproductive traits in monoecious and dioecious populations of Sagittaria latifolia (Alismataceae): a clonal aquatic plant. *Journal of Ecology*, 92(1), 32–44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2004.00857.x>

Driedonks, N., Rieu, I., y Vriezen, W. H. (2016). Breeding for plant heat tolerance at vegetative and reproductive stages. *Plant Reproduction*, 29(1–2), 67–79.

<https://doi.org/10.1007/s00497-016-0275-9>

Fahad, S., Hussain, S., Saud, S., Tanveer, M., Bajwa, A. A., Hassan, S., Shah, A. N., Ullah, A., Wu, C., Khan, F. A., Shah, F., Ullah, S., Chen, Y., y Huang, J. (2015). A biochar

application protects rice pollen from high-temperature stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96, 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.009>

Feeley, K. J., Stroud, J. T., y Perez, T. M. (2017). Most ‘global’ reviews of species’ responses to climate change are not truly global. *Diversity and Distributions*, 23(3), 231–234. <https://doi.org/10.1111/ddi.12517>

Fernandez, A., Tadey, M., y Farji-Brener, A. G. (2019). Refuse attracts? Effect of refuse dumps of leaf-cutting ants on floral traits. *Austral Ecology*, 44(1), 70–77. <https://doi.org/10.1111/aec.12653>

Ferreras, L. A., Toresani, S. M. I., Faggioli, V. S., y Galarza, C. M. (2015). Sensitivity of soil biological indicators in an Argiudoll from the Argentinean Pampas. *Spanish Journal of Soil Science*, 5. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04>

Flacher, F., Raynaud, X., Hansart, A., Geslin, B., Motard, E., Verstraet, S., Bataille, M., y Dajoz, I. (2020). Below-ground competition alters attractiveness of an insect-pollinated plant to pollinators. *AoB PLANTS*, 12(4), 1–10. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaa022>

Gardener, M. C., y Gillman, M. P. (2001). The effects of soil fertilizer on amino acids in the floral nectar of corncockle, *Agrostemma githago* (Caryophyllaceae). *Oikos*, 92(1), 101–106. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.920112.x>

Garruña-Hernández, R., Orellana, R., Larque-Saavedra, A., y Canto, A. (2014). Understanding the Physiological Responses of a Tropical Crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at High

Temperature. *PLoS ONE*, 9(11), e111402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111402>

Garruña, R., Pereyda-González, J., Oliva-Ruiz, M., Rodríguez-Castellanos, A., Castillo-Colli, M., Ríos-Bolívar, F. M., y Cetina-Escalante, R. R. (2021). Hortalizas tropicales: súper plantas ante el cambio climático. *Bioagrociencias*, 14(1), 46–55.

Gérard, M., Vanderplanck, M., Wood, T., y Michez, D. (2020). Global warming and plant-pollinator mismatches. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(1), 77–86.
<https://doi.org/10.1042/ETLS20190139>

Goldman, A. D., y Willson, M. F. (1986). Sex allocation in functionally hermaphroditic plants. *THE BOTANICAL REVIEW*, 52(2), 157–194.

González, L. C., Solano, J. P. L., Verduzco, C. V., y Castellanos, J. S. (2010). Diversidad genética en cuatro especies Mexicanas de calabaza (*Cucurbita* spp.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3), 189–196.

Han, B., Wang, X.-F., y Huang, S.-Q. (2011). Production of male flowers does not decrease with plant size in insect-pollinated *Sagittaria trifolia*, contrary to predictions of size-dependent sex allocation. *Journal of Systematics and Evolution*, 49(5), 379–385.
<https://doi.org/10.1111/j.1759-6831.2011.00141.x>

Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A., y Shariatmadari, H. (2004). Comparison of Vermicompost and Composts as Potting Media for Growth of Tomatoes. *Journal of Plant Nutrition*, 27(6), 1107–1123. <https://doi.org/10.1081/PLN-120037538>

Hedhly, A., Hormaza, J. I., y Herrero, M. (2009). Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in Plant Science*, 14(1), 30–36.

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.11.001>

Hoover, S. E. R., Ladley, J. J., Shchepetkina, A. A., Tisch, M., Gieseg, S. P., y Tylianakis, J. M. (2012). Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. *Ecology Letters*, 15(3), 227–234. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01729.x>

INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Técpán de Galeana, Guerrero. Clave geoestadística 12057.* 9.

IPCC. (2007). *Climate Change:2007. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter-Governmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.

Jusselme, M. D., Pruvost, C., Motard, E., Giusti-Miller, S., Frechault, S., Alphonse, V., Balland-Bolou-Bi, C., Dajoz, I., y Mora, P. (2019). Increasing the ability of a green roof to provide ecosystem services by adding organic matter and earthworms. *Applied Soil Ecology*, 143(May), 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.05.028>

Keasar, T., Sadeh, A., y Shmida, A. (2008). Variability in nectar production and standing crop, and their relation to pollinator visits in a Mediterranean shrub. *Arthropod-Plant Interactions*, 2(2), 117–123. <https://doi.org/10.1007/s11829-008-9040-9>

Kerr, J. T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S. G., Roberts, S. M., Rasmont, P., Schweiger, O., Colla, S. R., Richardson, L. L., Wagner, D. L., Gall, L. F., Sikes, D. S., y Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349(6244), 177–180. <https://doi.org/10.1126/science.aaa7031>

Kevan, P. G., y Viana, B. F. (2003). The global decline of pollination services. *Biodiversity*, 4(4), 3–8. <https://doi.org/10.1080/14888386.2003.9712703>

Kjøhl, M., Nielsen, A., y Stenseth, N. C. (2011). *Potential effects of climate change on crop pollination*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Klanderud, K. (2005). Climate change effects on species interactions in an alpine plant community. *Journal of Ecology*, 93(1), 127–137. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2004.00944.x>

Kudo, G., y Harder, L. D. (2005). Floral and inflorescence effects on variation in pollen removal and seed production among six legume species. *Functional Ecology*, 19(2), 245–254. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.00961.x>

Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups* (4th ed.). Springer Berlin, Heidelberg.

Lau, T.-C., y Stephenson, A. G. (1993). Effects of Soil Nitrogen on Pollen Production, Pollen Grain Size, and Pollen Performance in *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *American Journal of Botany*, 80(7), 763. <https://doi.org/10.2307/2445596>

Liu, Y., Mu, J., Niklas, K. J., Li, G., y Sun, S. (2012). Global warming reduces plant reproductive output for temperate multi-inflorescence species on the Tibetan plateau. *New Phytologist*, 195(2), 427–436. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04178.x>

Lobell, D. B., Schlenker, W., y Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>

- López-Uribe, M. M., Cane, J. H., Minckley, R. L., y Danforth, B. N. (2016). Crop domestication facilitated rapid geographical expansion of a specialist pollinator, the squash bee *Peponapis pruinosa*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1833), 20160443. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0443>
- Lu, C., y Tian, H. (2017). Global nitrogen and phosphorus fertilizer use for agriculture production in the past half century: shifted hot spots and nutrient imbalance. *Earth System Science Data*, 9(1), 181–192. <https://doi.org/10.5194/essd-9-181-2017>
- Lu, N.-N., Li, X.-H., Li, L., y Zhao, Z.-G. (2015). Variation of nectar production in relation to plant characteristics in protandrous *Aconitum gymnanthrum*. *Journal of Plant Ecology*, 8(2), 122–129. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv020>
- Mitchell, R. J., Karron, J. D., Holmquist, K. G., y Bell, J. M. (2004). The influence of *Mimulus ringens* floral display size on pollinator visitation patterns. *Functional Ecology*, 18(1), 116–124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2004.00812.x>
- Moreno Reséndez, A., Gómez Fuentes, L., Cano Ríos, P., Martínez Cueto, V., Reyes Carrillo, J. L., Puente Manríquez, J. L., y Rodríguez Dimas, N. (2008). Genotipos De Tomate En Mezclas De Vermicompost: Arena En Invernadero. *Terra Latinoamericana*, 26(2), 103–109.
- Moreno Reséndez, A., Valdés Perezgasga, M. T., y Zarate López, T. (2005). Development of tomatoes in substrates of vermicompost / sand under greenhouse conditions. *AGRICULTURA TÉCNICA (CHILE)*, 65(1), 26–34.
- Mu, J., Peng, Y., Xi, X., Wu, X., Li, G., Niklas, K. J., y Sun, S. (2015). Artificial asymmetric

warming reduces nectar yield in a Tibetan alpine species of Asteraceae. *Annals of Botany*, 116(6), 899–906. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv042>

Muñoz, A. A., Celedon-Neghme, C., Cavieres, L. A., y Arroyo, M. T. K. (2005). Bottom-up effects of nutrient availability on flower production, pollinator visitation, and seed output in a high-Andean shrub. *Oecologia*, 143(1), 126–135. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1780-3>

Ochieng, J., Kirimi, L., y Mathenge, M. (2016). Effects of climate variability and change on agricultural production: The case of small scale farmers in Kenya. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 77(1), 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.03.005>

Ortiz-sánchez, F. J., y Tinaut, A. (1994). Composición y dinámica de la comunidad de polinizadores potenciales del girasol (*Helianthus annuus* L.) en Granada (España). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 20, 737–756.

Peñuelas, J., y Filella, I. (2001). Responses to a Warming World. *Science*, 294(5543), 793–795. <https://doi.org/10.1126/science.1066860>

Petanidou, T., y Smets, E. (1996). Does temperature stress induce nectar secretion in Mediterranean plants? *New Phytologist*, 133(3), 513–518. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01919.x>

Pôrto, M. L., Puiatti, M., Alves, C., y Rezende, P. C. (2012). Produtividade e acúmulo de nitrato nos frutos de abobrinha em função da adubação nitrogenada. *Bragantia*, 71(2), 190–195.

Prasad, P. V. V., Staggenborg, S. A., y Ristic, Z. (2015). Impacts of Drought and/or Heat

Stress on Physiological, Developmental, Growth, and Yield Processes of Crop Plants. In *Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes, Advances in Agricultural Systems Modeling* (pp. 301–355).
<https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel1.c11>

Queiroga, R. C. F. de, Puiatti, M., Fontes, P. C. R., Cecon, P. R., y Finger, F. L. (2007). Influência de doses de nitrogênio na produtividade e qualidade do melão Cantalupensis sob ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 25(4), 550–556.
<https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000400011>

Ramos Oseguera, C. A., Castro Ramírez, A. E., León Martínez, N. S., Álvarez Solís, J. D., y Huerta Lwanga, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 37(1), 45. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i1.331>

Ren, F., Zhou, H., Zhao, X.-Q., Han, F., Shi, L.-N., Duan, J.-C., y Zhao, J.-Z. (2010). Influence of simulated warming using OTC on physiological–biochemical characteristics of *Elymus nutans* in alpine meadow on Qinghai-Tibetan plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 30(3), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2010.04.007>

Rodas-Gaitán, H. A., Rodríguez-Fuentes, H., Ojeda-Zacarías, M. del C., Vidales-Contreras, J. A., y Luna-Maldonado, A. I. (2012). Curvas de absorción de macronutrientes en calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(ESPECIAL 5), 57–60.

Salehi, Sharifi-Rad, Capanoglu, Adrar, Catalkaya, Shaheen, Jaffer, Giri, Suyal, Jugran, Calina, Docea, Kamiloglu, Kregiel, Antolak, Pawlikowska, Sen, Acharya, Bashiry, ... Cho.

(2019). Cucurbita Plants: From Farm to Industry. *Applied Sciences*, 9(16), 3387.

<https://doi.org/10.3390/app9163387>

Sato, S., Kamiyama, M., Iwata, T., Makita, N., Furukawa, H., y Ikeda, H. (2006). Moderate Increase of Mean Daily Temperature Adversely Affects Fruit Set of *Lycopersicon esculentum* by Disrupting Specific Physiological Processes in Male Reproductive Development. *Annals of Botany*, 97(5), 731–738. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl037>

Scaven, V. L., y Rafferty, N. E. (2013). Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions. *Current Zoology*, 59(3), 418–426. <https://doi.org/10.1093/czoolo/59.3.418>

Schweiger, O., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Hickler, T., Hulme, P. E., Klotz, S., Kühn, I., Moora, M., Nielsen, A., Ohlemüller, R., Petanidou, T., Potts, S. G., Pyšek, P., Stout, J. C., Sykes, M. T., Tscheulin, T., Vilà, M., Walther, G.-R., Westphal, C., ... Settele, J. (2010). Multiple stressors on biotic interactions: how climate change and alien species interact to affect pollination. *Biological Reviews*, 85(4), no-no.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00125.x>

Shuler, R. E., Roulston, T. H., y Farris, G. E. (2005). Farming practices influence wild pollinator populations on squash and pumpkin. *Journal of Economic Entomology*, 98(3), 790–795. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-98.3.790>

Southwick, E. E. (1984). Photosynthate Allocation to Floral Nectar: A Neglected Energy Investment. *Ecology*, 65(6), 1775–1779. <https://doi.org/10.2307/1937773>

Takkis, K., Tscheulin, T., Tsalkatis, P., y Petanidou, T. (2015). Climate change reduces nectar

secretion in two common Mediterranean plants. *AoB Plants*, 7, plv111.

<https://doi.org/10.1093/aobpla/plv111>

Tubiello, F. N., Soussana, J.-F., y Howden, S. M. (2007). Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19686–19690.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0701728104>

Adamson, C. P., y Iler, A. (2021). Open-top warming chambers reduce animal pollination of two subalpine herbs. *Journal of Pollination Ecology*, 29, 231–239.

[https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2021\)638](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2021)638)

Aerts, R., Cornelissen, J. H. C., Dorrepaal, E., Van Logtestijn, R. S. P., y Callaghan, T. V. (2004). Effects of experimentally imposed climate scenarios on flowering phenology and flower production of subarctic bog species. *Global Change Biology*, 10(9), 1599–1609.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00815.x>

Aguado, D., Gutierrez-Chacón, C., y Muñoz, M. C. (2019). Estructura funcional y patrones de especialización en las relaciones planta-polinizador de un agroecosistema en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 331–342.

<https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.73177>

Akter, A., Biella, P., y Klecka, J. (2017). Effects of small-scale clustering of flowers on pollinator foraging behaviour and flower visitation rate. *PLOS ONE*, 12(11), e0187976.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187976>

Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., y Nava-Pérez, E. (2010). Role of biofertilizers in the

agricultural development in Mexico. *Ra Ximhai*, 6(1), 51–56.

Asher, J. S., y Pickering, J. (2020). *Discover life bee species guide and world checklist (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila)*.

http://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species%0A%0A

Bachman, G. R., y Metzger, J. D. (2008). Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology*, 99(8), 3155–3161.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.069>

Biella, P., Akter, A., Ollerton, J., Tarrant, S., Janeček, Š., Jersáková, J., y Klecka, J. (2019). Experimental loss of generalist plants reveals alterations in plant-pollinator interactions and a constrained flexibility of foraging. *Scientific Reports*, 9(1), 7376.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-43553-4>

Biernaskie, J. M., Cartar, R. V., y Hurly, T. A. (2002). Risk-averse inflorescence departure in hummingbirds and bumble bees: could plants benefit from variable nectar volumes? *Oikos*, 98(1), 98–104. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980110.x>

Borbolla-Perez, V., Iglesias-Andreu, L. G., Herrera-Cabrera, B. E., y Vovides-Papalouka, A. (2016). Aborción prematura de frutos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*, 9(9), 11–13.

Burkle, L. A., y Irwin, R. E. (2010). Beyond biomass: measuring the effects of community-level nitrogen enrichment on floral traits, pollinator visitation and plant reproduction. *Journal of Ecology*, 98(3), 705–717. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01648.x>

Campbell, D. R., y Halama, K. J. (1993). Resource and Pollen Limitations to Lifetime Seed

Production in a Natural Plant Population. *Ecology*, 74(4), 1043–1051.

<https://doi.org/10.2307/1940474>

Campbell, L. G., Luo, J., y Mercer, K. L. (2013). Effect of water availability and genetic diversity on flowering phenology, synchrony and reproductive investment in summer squash. *Journal of Agricultural Science*, 151(6), 775–786.

<https://doi.org/10.1017/S0021859612000731>

Cardoza, Y. J., Harris, G. K., y Grozinger, C. M. (2012). Effects of Soil Quality Enhancement on Pollinator-Plant Interactions. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012, 1–8.

<https://doi.org/10.1155/2012/581458>

Carreto-Morales, E. Y., López-Díaz, J. A., Martínez-Castrejón, M., Talavera-Mendoza, O., Almazán-Núñez, R. C., y Hernández-Flores, G. (2021). Sewage sludge from Taxco de Alarcón wastewater treatment plant as substrate to cultivate *Panicum maximum*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 38(3), 164–177.

<https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2021.3.1617>

Castagnino, A. M., Díaz, K. E., Sastre, P., y Navarro, M. (2007). Respuesta de plántulas de *Cucurbita pepo* var. Scallop a la fertilización fosfórica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 214–221.

Chen, K., Fijen, T. P. M., Kleijn, D., y Schepers, J. (2021). Insect pollination and soil organic matter improve raspberry production independently of the effects of fertilizers.

Agriculture, Ecosystems y Environment, 309(December 2020), 107270.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107270>

Cnaani, J., Thomson, J. D., y Papaj, D. R. (2006). Flower Choice and Learning in Foraging Bumblebees: Effects of Variation in Nectar Volume and Concentration. *Ethology*, 112(3), 278–285. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2006.01174.x>

Conner, J. K., y Rush, S. (1996). Effects of flower size and number on pollinator visitation to wild radish, *Raphanus raphanistrum*. *Oecologia*, 105(4), 509–516.
<https://doi.org/10.1007/BF00330014>

David, T. I., Storkey, J., y Stevens, C. J. (2019). Understanding how changing soil nitrogen affects plant–pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, 13(5), 671–684.
<https://doi.org/10.1007/s11829-019-09714-y>

Delgado-Carrillo, O., Martén-Rodríguez, S., Ashworth, L., Aguilar, R., Lopezaraiza-Mikel, M., y Quesada, M. (2018). Temporal variation in pollination services to *Cucurbita moschata* is determined by bee gender and diversity. *Ecosphere*, 9(11), e02506.
<https://doi.org/10.1002/ecs2.2506>

Descamps, C., Marée, S., Hugon, S., Quinet, M., y Jacquemart, A. (2020). Species-specific responses to combined water stress and increasing temperatures in two bee-pollinated congeners (*Echium* , Boraginaceae). *Ecology and Evolution*, 10(13), 6549–6561.
<https://doi.org/10.1002/ece3.6389>

Descamps, C., Quinet, M., Baijot, A., y Jacquemart, A.-L. (2018). Temperature and water stress affect plant-pollinator interactions in *Borago officinalis* (Boraginaceae). *Ecology and Evolution*, 8(6), 3443–3456. <https://doi.org/10.1002/ece3.3914>

Devi, S., Gulati, R., Tehri, K., y Poonia, A. (2015). Effect of different modes of pollination on

yield parameters of Allium cepa L. *Journal of Entomological Research*, 39(2), 111.

<https://doi.org/10.5958/0974-4576.2015.00004.3>

Domínguez, J. (2018). Earthworms and Vermicomposting. In *Earthworms - The Ecological Engineers of Soil*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76088>

Dorken, M. E., y Barrett, S. C. H. (2004). Phenotypic plasticity of vegetative and reproductive traits in monoecious and dioecious populations of Sagittaria latifolia (Alismataceae): a clonal aquatic plant. *Journal of Ecology*, 92(1), 32–44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2004.00857.x>

Driedonks, N., Rieu, I., y Vriezen, W. H. (2016). Breeding for plant heat tolerance at vegetative and reproductive stages. *Plant Reproduction*, 29(1–2), 67–79.

<https://doi.org/10.1007/s00497-016-0275-9>

Fahad, S., Hussain, S., Saud, S., Tanveer, M., Bajwa, A. A., Hassan, S., Shah, A. N., Ullah, A., Wu, C., Khan, F. A., Shah, F., Ullah, S., Chen, Y., y Huang, J. (2015). A biochar application protects rice pollen from high-temperature stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96, 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.009>

Feeley, K. J., Stroud, J. T., y Perez, T. M. (2017). Most ‘global’ reviews of species’ responses to climate change are not truly global. *Diversity and Distributions*, 23(3), 231–234.

<https://doi.org/10.1111/ddi.12517>

Fernandez, A., Tadey, M., y Farji-Brener, A. G. (2019). Refuse attracts? Effect of refuse dumps of leaf-cutting ants on floral traits. *Austral Ecology*, 44(1), 70–77.

<https://doi.org/10.1111/aec.12653>

Ferreras, L. A., Toresani, S. M. I., Faggioli, V. S., y Galarza, C. M. (2015). Sensitivity of soil biological indicators in an Argiudoll from the Argentinean Pampas. *Spanish Journal of Soil Science*, 5. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04>

Flacher, F., Raynaud, X., Hansart, A., Geslin, B., Motard, E., Verstraet, S., Bataille, M., y Dajoz, I. (2020). Below-ground competition alters attractiveness of an insect-pollinated plant to pollinators. *AoB PLANTS*, 12(4), 1–10. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaa022>

Gardener, M. C., y Gillman, M. P. (2001). The effects of soil fertilizer on amino acids in the floral nectar of corncockle, *Agrostemma githago* (Caryophyllaceae). *Oikos*, 92(1), 101–106. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.920112.x>

Garruña-Hernández, R., Orellana, R., Larque-Saavedra, A., y Canto, A. (2014). Understanding the Physiological Responses of a Tropical Crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at High Temperature. *PLoS ONE*, 9(11), e111402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111402>

Garruña, R., Pereyda-González, J., Oliva-Ruiz, M., Rodríguez-Castellanos, A., Castillo-Colli, M., Ríos-Bolívar, F. M., y Cetina-Escalante, R. R. (2021). Hortalizas tropicales: súper plantas ante el cambio climático. *Bioagrociencias*, 14(1), 46–55.

Gérard, M., Vanderplanck, M., Wood, T., y Michez, D. (2020). Global warming and plant-pollinator mismatches. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(1), 77–86. <https://doi.org/10.1042/ETLS20190139>

Goldman, A. D., y Willson, M. F. (1986). Sex allocation in functionally hermaphroditic plants. *THE BOTANICAL REVIEW*, 52(2), 157–194.

González, L. C., Solano, J. P. L., Verduzco, C. V., y Castellanos, J. S. (2010). Diversidad

genética en cuatro especies Mexicanas de calabaza (*Cucurbita* spp.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3), 189–196.

Han, B., Wang, X.-F., y Huang, S.-Q. (2011). Production of male flowers does not decrease with plant size in insect-pollinated *Sagittaria trifolia*, contrary to predictions of size-dependent sex allocation. *Journal of Systematics and Evolution*, 49(5), 379–385.
<https://doi.org/10.1111/j.1759-6831.2011.00141.x>

Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A., y Shariatmadari, H. (2004). Comparison of Vermicompost and Composts as Potting Media for Growth of Tomatoes. *Journal of Plant Nutrition*, 27(6), 1107–1123. <https://doi.org/10.1081/PLN-120037538>

Hedhly, A., Hormaza, J. I., y Herrero, M. (2009). Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in Plant Science*, 14(1), 30–36.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.11.001>

Hoover, S. E. R., Ladley, J. J., Shchepetkina, A. A., Tisch, M., Gieseg, S. P., y Tylianakis, J. M. (2012). Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. *Ecology Letters*, 15(3), 227–234. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01729.x>

INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Técpán de Galeana, Guerrero. Clave geoestadística 12057. 9.*

IPCC. (2007). *Climate Change:2007. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter-Governmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.

- Jusselme, M. D., Pruvost, C., Motard, E., Giusti-Miller, S., Frechault, S., Alphonse, V., Balland-Bolou-Bi, C., Dajoz, I., y Mora, P. (2019). Increasing the ability of a green roof to provide ecosystem services by adding organic matter and earthworms. *Applied Soil Ecology*, 143(May), 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.05.028>
- Keasar, T., Sadeh, A., y Shmida, A. (2008). Variability in nectar production and standing crop, and their relation to pollinator visits in a Mediterranean shrub. *Arthropod-Plant Interactions*, 2(2), 117–123. <https://doi.org/10.1007/s11829-008-9040-9>
- Kerr, J. T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S. G., Roberts, S. M., Rasmont, P., Schweiger, O., Colla, S. R., Richardson, L. L., Wagner, D. L., Gall, L. F., Sikes, D. S., y Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349(6244), 177–180. <https://doi.org/10.1126/science.aaa7031>
- Kevan, P. G., y Viana, B. F. (2003). The global decline of pollination services. *Biodiversity*, 4(4), 3–8. <https://doi.org/10.1080/14888386.2003.9712703>
- Kjøhl, M., Nielsen, A., y Stenseth, N. C. (2011). *Potential effects of climate change on crop pollination*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Klanderud, K. (2005). Climate change effects on species interactions in an alpine plant community. *Journal of Ecology*, 93(1), 127–137. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2004.00944.x>
- Kudo, G., y Harder, L. D. (2005). Floral and inflorescence effects on variation in pollen removal and seed production among six legume species. *Functional Ecology*, 19(2), 245–254. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.00961.x>

Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups* (4th ed.). Springer Berlin, Heidelberg.

Lau, T.-C., y Stephenson, A. G. (1993). Effects of Soil Nitrogen on Pollen Production, Pollen Grain Size, and Pollen Performance in *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *American Journal of Botany*, 80(7), 763. <https://doi.org/10.2307/2445596>

Liu, Y., Mu, J., Niklas, K. J., Li, G., y Sun, S. (2012). Global warming reduces plant reproductive output for temperate multi-inflorescence species on the Tibetan plateau. *New Phytologist*, 195(2), 427–436. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04178.x>

Lobell, D. B., Schlenker, W., y Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620.
<https://doi.org/10.1126/science.1204531>

López-Uribe, M. M., Cane, J. H., Minckley, R. L., y Danforth, B. N. (2016). Crop domestication facilitated rapid geographical expansion of a specialist pollinator, the squash bee *Peponapis pruinosa*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1833), 20160443. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0443>

Lu, C., y Tian, H. (2017). Global nitrogen and phosphorus fertilizer use for agriculture production in the past half century: shifted hot spots and nutrient imbalance. *Earth System Science Data*, 9(1), 181–192. <https://doi.org/10.5194/essd-9-181-2017>

Lu, N.-N., Li, X.-H., Li, L., y Zhao, Z.-G. (2015). Variation of nectar production in relation to plant characteristics in protandrous *Aconitum gymnanthrum*. *Journal of Plant Ecology*, 8(2), 122–129. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv020>

Mitchell, R. J., Karron, J. D., Holmquist, K. G., y Bell, J. M. (2004). The influence of *Mimulus ringens* floral display size on pollinator visitation patterns. *Functional Ecology*, 18(1), 116–124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2004.00812.x>

Moreno Reséndez, A., Gómez Fuentes, L., Cano Ríos, P., Martínez Cueto, V., Reyes Carrillo, J. L., Puente Manríquez, J. L., y Rodríguez Dimas, N. (2008). Genotipos De Tomate En Mezclas De Vermicompost: Arena En Invernadero. *Terra Latinoamericana*, 26(2), 103–109.

Moreno Reséndez, A., Valdés Perezgasga, M. T., y Zarate López, T. (2005). Development of tomatoes in substrates of vermicompost / sand under greenhouse conditions. *AGRICULTURA TÉCNICA (CHILE)*, 65(1), 26–34.

Mu, J., Peng, Y., Xi, X., Wu, X., Li, G., Niklas, K. J., y Sun, S. (2015). Artificial asymmetric warming reduces nectar yield in a Tibetan alpine species of Asteraceae. *Annals of Botany*, 116(6), 899–906. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv042>

Muñoz, A. A., Celedon-Neghme, C., Cavieres, L. A., y Arroyo, M. T. K. (2005). Bottom-up effects of nutrient availability on flower production, pollinator visitation, and seed output in a high-Andean shrub. *Oecologia*, 143(1), 126–135. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1780-3>

Ochieng, J., Kirimi, L., y Mathenge, M. (2016). Effects of climate variability and change on agricultural production: The case of small scale farmers in Kenya. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 77(1), 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.03.005>

Ortiz-sánchez, F. J., y Tinaut, A. (1994). Composición y dinámica de la comunidad de

polinizadores potenciales del girasol (*Helianthus annuus* L .) en Granada (España).

Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas, 20, 737–756.

Peñuelas, J., y Filella, I. (2001). Responses to a Warming World. *Science*, 294(5543), 793–795. <https://doi.org/10.1126/science.1066860>

Petanidou, T., y Smets, E. (1996). Does temperature stress induce nectar secretion in Mediterranean plants? *New Phytologist*, 133(3), 513–518. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01919.x>

Pôrto, M. L., Puiatti, M., Alves, C., y Rezende, P. C. (2012). Produtividade e acúmulo de nitrito nos frutos de abobrinha em função da adubação nitrogenada. *Bragantia*, 71(2), 190–195.

Prasad, P. V. V, Staggenborg, S. A., y Ristic, Z. (2015). Impacts of Drought and/or Heat Stress on Physiological, Developmental, Growth, and Yield Processes of Crop Plants. In *Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes, Advances in Agricultural Systems Modeling* (pp. 301–355). <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel1.c11>

Queiroga, R. C. F. de, Puiatti, M., Fontes, P. C. R., Cecon, P. R., y Finger, F. L. (2007). Influência de doses de nitrogênio na produtividade e qualidade do melão Cantalupensis sob ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 25(4), 550–556. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000400011>

Ramos Oseguera, C. A., Castro Ramírez, A. E., León Martínez, N. S., Álvarez Solís, J. D., y Huerta Lwanga, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco

arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 37(1), 45. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i1.331>

- Ren, F., Zhou, H., Zhao, X.-Q., Han, F., Shi, L.-N., Duan, J.-C., y Zhao, J.-Z. (2010). Influence of simulated warming using OTC on physiological–biochemical characteristics of *Elymus nutans* in alpine meadow on Qinghai-Tibetan plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 30(3), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2010.04.007>
- Rodas-Gaitán, H. A., Rodríguez-Fuentes, H., Ojeda-Zacarías, M. del C., Vidales-Contreras, J. A., y Luna-Maldonado, A. I. (2012). Curvas de absorción de macronutrientes en calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(ESPECIAL 5), 57–60.
- Salehi, Sharifi-Rad, Capanoglu, Adrar, Catalkaya, Shaheen, Jaffer, Giri, Suyal, Jugran, Calina, Docea, Kamiloglu, Kregiel, Antolak, Pawlikowska, Sen, Acharya, Bashiry, ... Cho. (2019). Cucurbita Plants: From Farm to Industry. *Applied Sciences*, 9(16), 3387. <https://doi.org/10.3390/app9163387>
- Sato, S., Kamiyama, M., Iwata, T., Makita, N., Furukawa, H., y Ikeda, H. (2006). Moderate Increase of Mean Daily Temperature Adversely Affects Fruit Set of *Lycopersicon esculentum* by Disrupting Specific Physiological Processes in Male Reproductive Development. *Annals of Botany*, 97(5), 731–738. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl037>
- Scaven, V. L., y Rafferty, N. E. (2013). Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions. *Current Zoology*, 59(3), 418–426. <https://doi.org/10.1093/czoolo/59.3.418>

Schweiger, O., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Hickler, T., Hulme, P. E., Klotz, S., Kühn, I., Moora, M., Nielsen, A., Ohlemüller, R., Petanidou, T., Potts, S. G., Pyšek, P., Stout, J. C., Sykes, M. T., Tscheulin, T., Vilà, M., Walther, G.-R., Westphal, C., ... Settele, J. (2010). Multiple stressors on biotic interactions: how climate change and alien species interact to affect pollination. *Biological Reviews*, 85(4), no-no.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00125.x>

Shuler, R. E., Roulston, T. H., y Farris, G. E. (2005). Farming practices influence wild pollinator populations on squash and pumpkin. *Journal of Economic Entomology*, 98(3), 790–795. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-98.3.790>

Southwick, E. E. (1984). Photosynthate Allocation to Floral Nectar: A Neglected Energy Investment. *Ecology*, 65(6), 1775–1779. <https://doi.org/10.2307/1937773>

Takkis, K., Tscheulin, T., Tsalkatis, P., y Petanidou, T. (2015). Climate change reduces nectar secretion in two common Mediterranean plants. *AoB Plants*, 7, plv111.
<https://doi.org/10.1093/aobpla/plv111>

Tubiello, F. N., Soussana, J.-F., y Howden, S. M. (2007). Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19686–19690.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0701728104>

Weiner, J., Campbell, L. G., Pino, J., y Echarte, L. (2009). The allometry of reproduction within plant populations. *Journal of Ecology*, 97(6), 1220–1233.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01559.x>

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., y Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and experimental botany*, 61(3), 199–223.
<https://doi:10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>

ANEXOS

Figura S1. Rasgos florales medidas en flores pistiladas y estaminadas de *Cucurbita pepo* durante la época seca y lluviosa bajo tratamientos de temperatura y fertilización. (A) diámetro de la corola, (B) diámetro del tubo floral, (C) longitud del tubo floral, (D) ancho del pétalo, (E) longitud del estambre, (F) longitud del estilo-estigma.

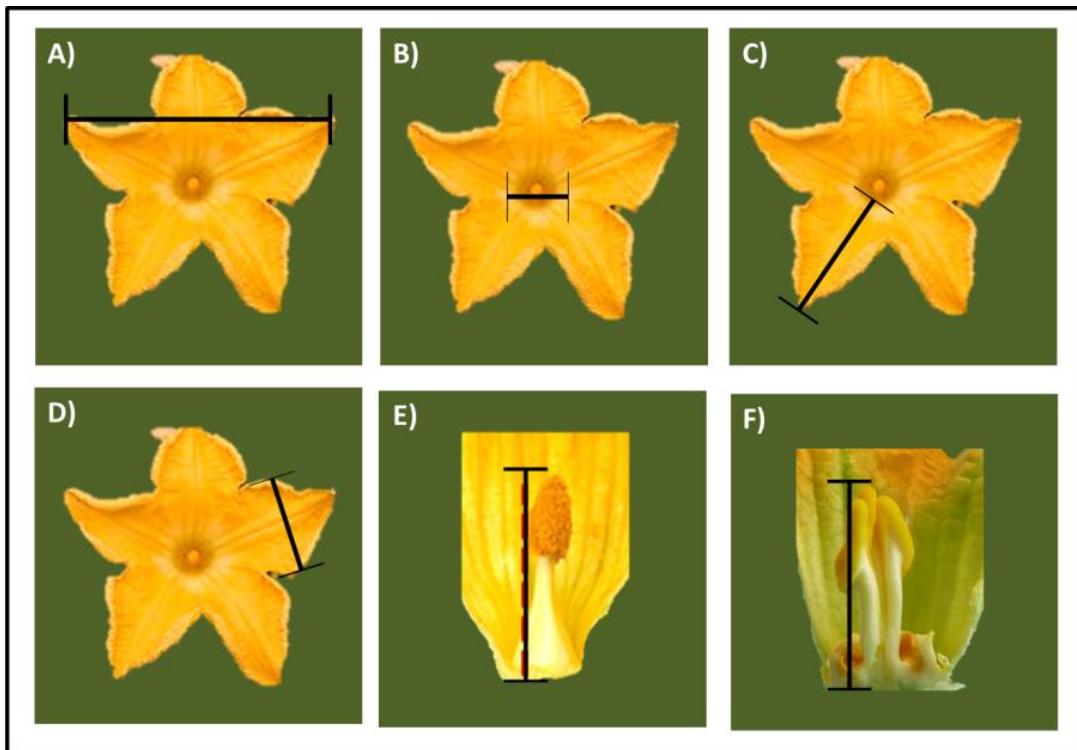


Figura S2. Correlaciones de Pearson entre todas las características florales medidas en flores pistiladas de *C. pepo* durante la estación seca. CD = diámetro de la corola; FTD = diámetro del tubo floral; FTL = longitud del tubo floral; PW = ancho de pétalo; LSS = longitud del estilo-estigma. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

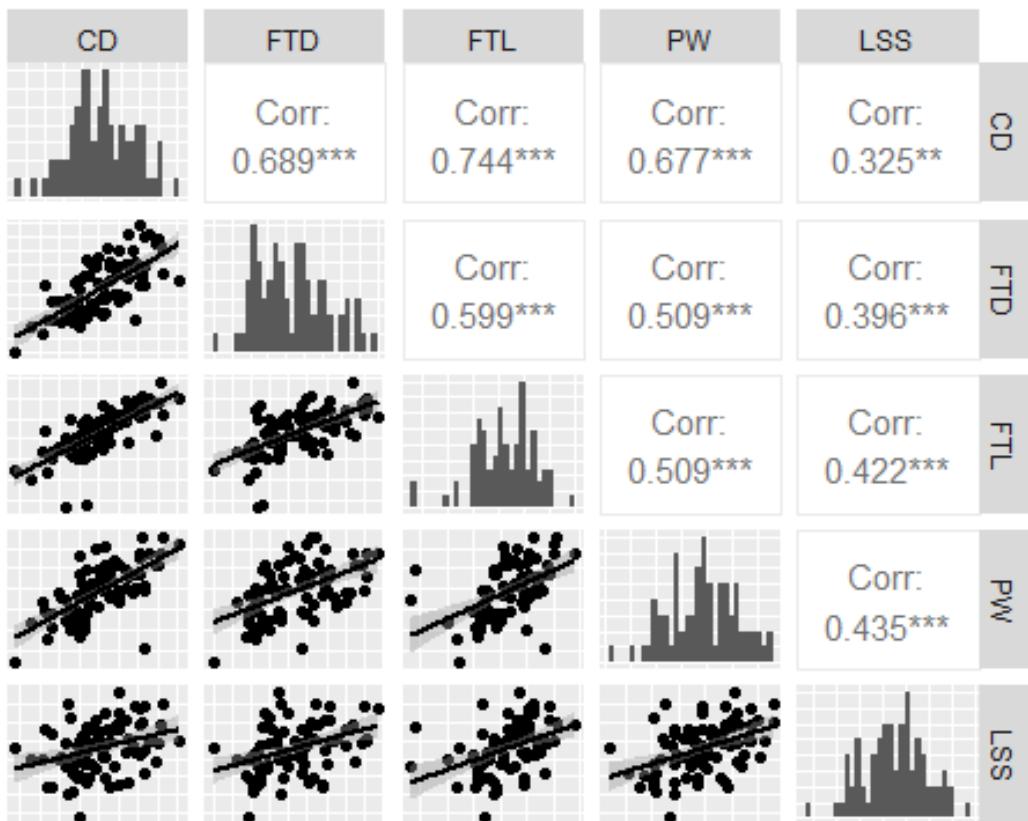


Figura S3. Correlaciones de Pearson entre todas las características florales medidas en flores estaminadas de *C. pepo* durante la estación seca. CD = diámetro de la corola; FTD = diámetro del tubo floral; FTL = longitud del tubo floral; PW = ancho de pétalo; LS = longitud del estambre. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

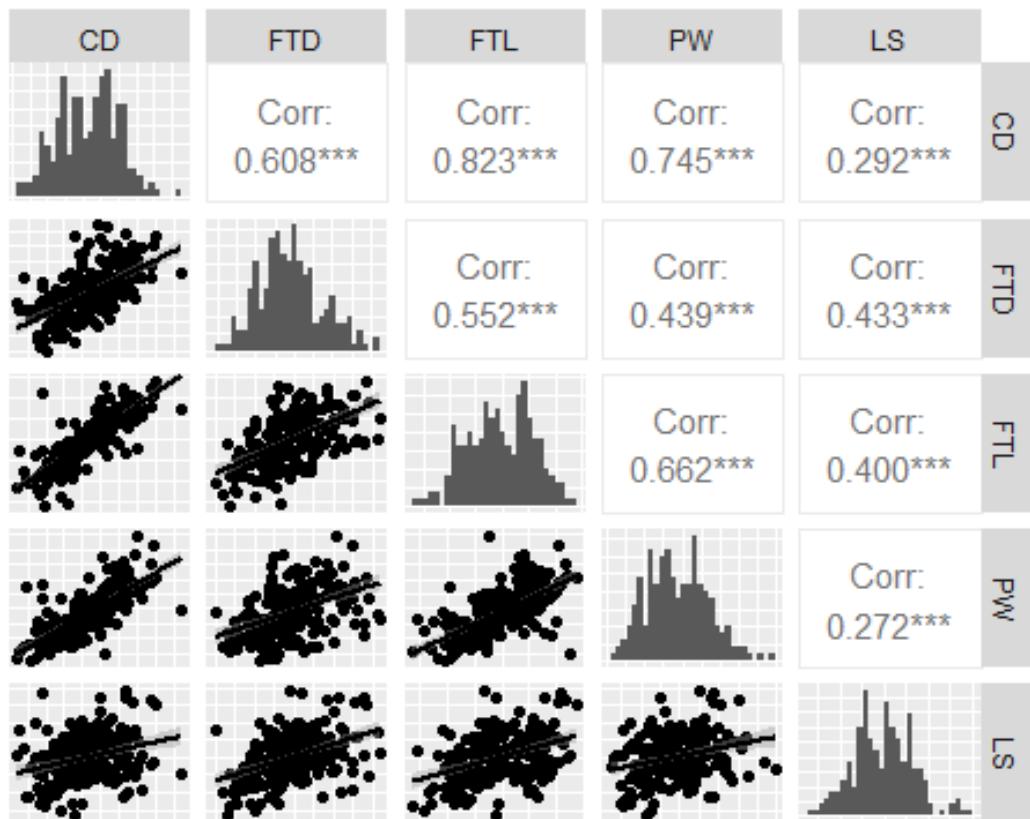


Figura S4. Correlaciones de Pearson entre todas las características florales medidas en flores pistiladas de *C. pepo* durante la estación lluviosa. CD = diámetro de la corola; FTD = diámetro del tubo floral; FTL = longitud del tubo floral; PW = ancho de pétalo; LSS = longitud del estilo-estigma. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

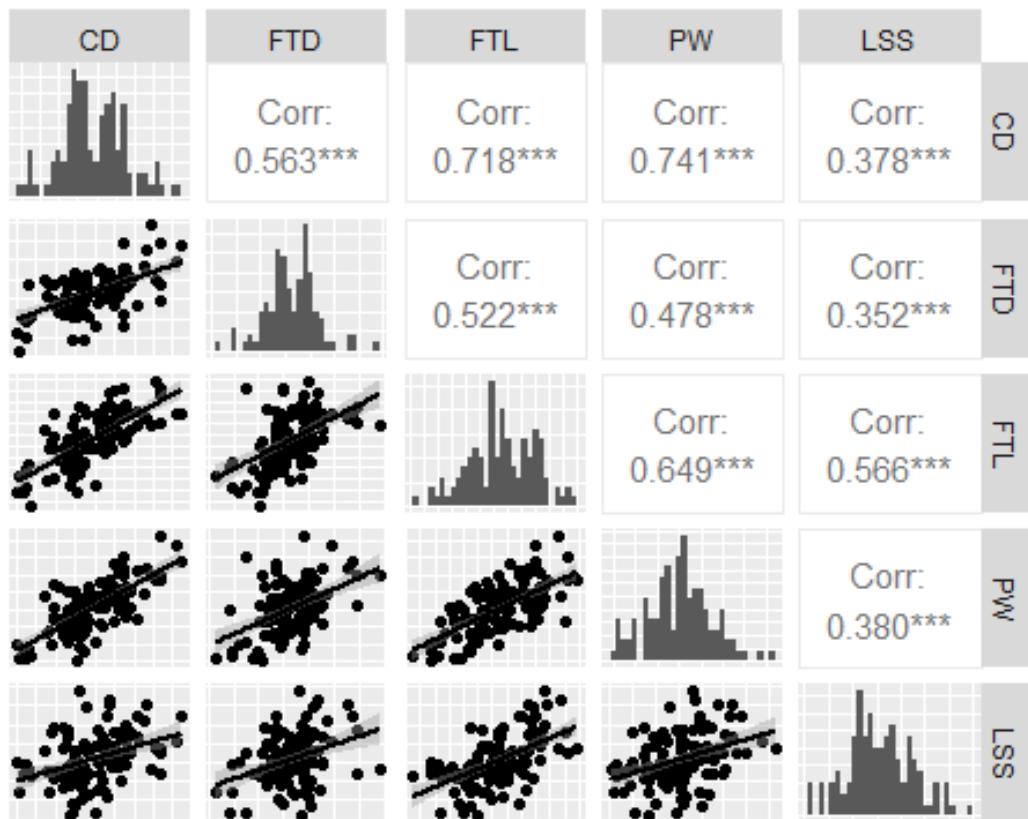


Figura S5. Correlaciones de Pearson entre todas las características florales medidas en flores estaminadas de *C. pepo* durante la estación lluviosa. CD = diámetro de la corola; FTD = diámetro del tubo floral; FTL = longitud del tubo floral; PW = ancho de pétalo; LS = longitud del estambre. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

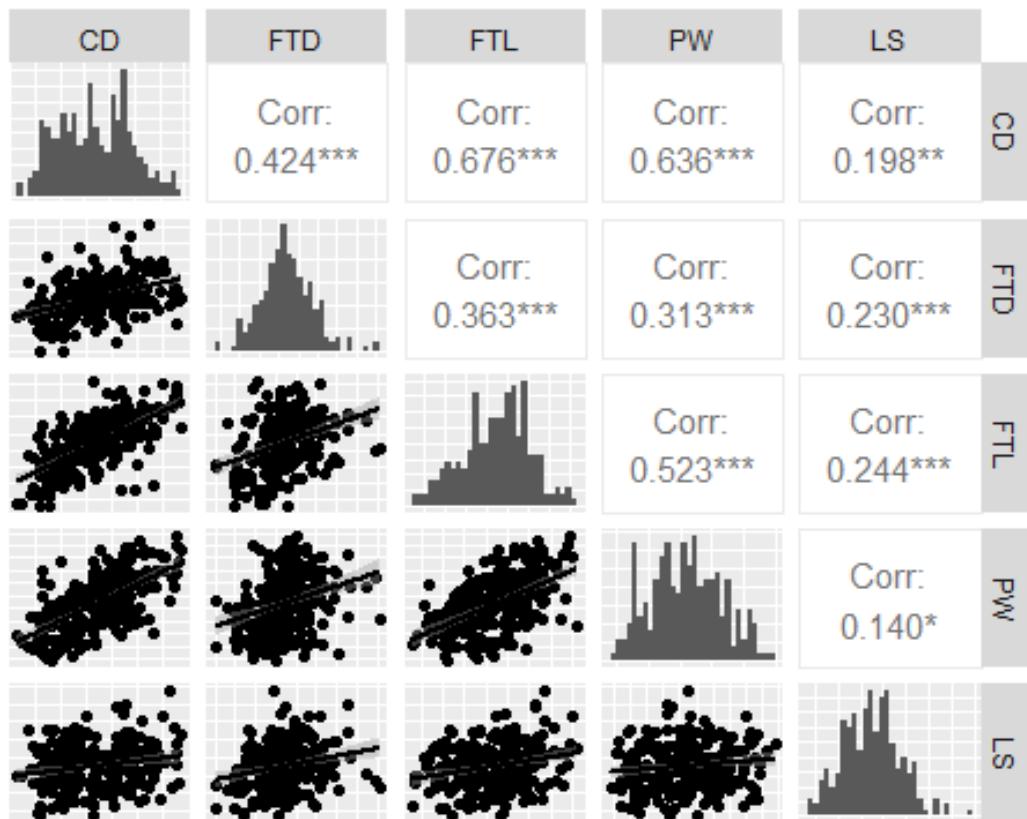


Tabla S1. Resultados de los análisis que prueban los efectos de la temperatura, la fertilización y su interacción sobre las características vegetativas y florales, los visitantes florales legítimos y el éxito reproductivo de *Cucurbita pepo* durante la estación seca y lluviosa. Se muestran los valores ANOVA (valor F) o GLM (χ^2) y los valores p (*).

Parameters	Dry season			Rainy season		
	Temperature	Fertilization	T*F	Temperature	Fertilization	T*F
Vegetative traits						
Plant height	$F_{1,54}=71.15^{***}$	$F_{2,54}=0.97$	$F_{2,54}=1.54$	$\chi^2_1=8.04^{**}$	$\chi^2_2=21.53^{***}$	$\chi^2_2=0.61$
Number of leaves	$\chi^2_1=4.69^*$	$\chi^2_2=8.18^{***}$	$\chi^2_2=0.73$	$\chi^2_1=0.02$	$\chi^2_2=7.52^{***}$	$\chi^2_2=0.61$
Leaf area	$\chi^2_1=0.65$	$\chi^2_2=17.38^{***}$	$\chi^2_2=1.92$	$\chi^2_1=1.81$	$\chi^2_2=120.37^{***}$	$\chi^2_2=1.66$
Floral traits						
<i>Pistillate flowers</i>						
Timing of flowering	$\chi^2_1=0.05$	$\chi^2_2=1.97$	$\chi^2_2=0.03$	$\chi^2_1=0.01$	$\chi^2_2=0.76$	$\chi^2_2=1.74$
Number of flowers	$\chi^2_1=4.80^*$	$\chi^2_2=7.13^{**}$	$\chi^2_2=0.59$	$\chi^2_1=8.56^{**}$	$\chi^2_2=9.00^{***}$	$\chi^2_2=0.35$
Corolla diameter	$F_{1,49}=0.09$	$F_{2,49}=0.67$	$F_{2,49}=0.49$	$F_{1,65}=7.10^{**}$	$F_{2,65}=13.39^{***}$	$F_{2,79}=1.37$
Nectar volume	$F_{1,26}=1.95$	$F_{2,26}=0.09$	$F_{2,26}=0.12$	$\chi^2_1=0.53$	$\chi^2_2=1.45$	$\chi^2_2=1.07$
Sugar concentration	$F_{1,26}=8.80^{**}$	$F_{2,26}=0.25$	$F_{2,26}=7.097^{**}$	$\chi^2_1=2.56$	$\chi^2_2=0.42$	$\chi^2_2=0.16$
Flower sex ratio	$\chi^2_1=3.92^*$	$\chi^2_2=13.71^{**}$	$\chi^2_2=4.26$	$\chi^2_1=3.85^*$	$\chi^2_2=14.27^{***}$	$\chi^2_2=1.07$
<i>Staminate flowers</i>						
Timing of flowering	$\chi^2_1=16.73^{***}$	$\chi^2_2=1.67$	$\chi^2_2=1.35$	$\chi^2_1=0.92$	$\chi^2_2=1.25$	$\chi^2_2=1.41$
Number of flowers	$\chi^2_1=2.32$	$\chi^2_2=43.87^{***}$	$\chi^2_2=24.96^{***}$	$\chi^2_1=15.45^{***}$	$\chi^2_2=2.17$	$\chi^2_2=0.14$
Corolla diameter	$F_{1,73}=30.22^{***}$	$F_{2,73}=1.33$	$F_{2,73}=2.28$	$F_{1,79}=13.37^{***}$	$F_{2,79}=0.15$	$F_{2,79}=0.71$
Nectar volume	$F_{1,30}=2.16$	$F_{2,30}=0.47$	$F_{2,30}=3.10$	$\chi^2_1=1.77$	$\chi^2_2=0.80$	$\chi^2_2=0.93$
Sugar concentration	$F_{1,30}=7.06^*$	$F_{2,30}=4.52^*$	$F_{2,30}=2.15$	$\chi^2_1=2.76$	$\chi^2_2=0.07$	$\chi^2_2=0.06$
Legitimate floral visitors						
<i>Pistillate flowers</i>						
Number of legitimate visits	$\chi^2_1=1.30$	$\chi^2_2=16.02^{***}$	$\chi^2_2=4.67^*$	$\chi^2_1=20.44^{***}$	$\chi^2_2=6.71^{**}$	$\chi^2_2=2.54$
Duration of visit	$\chi^2_1=0.84$	$\chi^2_2=3.46^*$	$\chi^2_2=0.66$	$\chi^2_1=0.21$	$\chi^2_2=6.89^{**}$	$\chi^2_2=3.33^*$
<i>Staminate flowers</i>						
Number of legitimate visits	$\chi^2_1=0.57$	$\chi^2_2=3.41^*$	$\chi^2_2=11.44^{***}$	$\chi^2_1=1.46$	$\chi^2_2=0.96$	$\chi^2_2=11.25^{***}$
Duration of visit	$\chi^2_1=2.05$	$\chi^2_2=5.84^{**}$	$\chi^2_2=8.14^{***}$	$\chi^2_1=7.45^{**}$	$\chi^2_2=0.54$	$\chi^2_2=0.93$
Reproductive success						
Fruit set	$\chi^2_1<0.01$	$\chi^2_2=4.78^*$	$\chi^2_2=1.94$	$\chi^2_1=0.09$	$\chi^2_2=1.57$	$\chi^2_2=1.26$
Number of seeds	$\chi^2_1=1.15$	$\chi^2_2=36.06^{***}$	$\chi^2_2=49.39^{***}$	$\chi^2_1=63.97^{***}$	$\chi^2_2=134.06^{***}$	$\chi^2_2=25.34^{***}$