

Alteraciones en las flores de hortalizas por incremento de temperatura y CO₂ en la atmósfera^φ

Mauricio Castillo¹, René Garruña^{2*}

Introducción

En las últimas décadas, debido al aumento en las concentraciones de CO₂ de la atmósfera la temperatura promedio del planeta ha incrementado. Se espera que esta tendencia continúe por muchos años. Estos cambios en el ambiente tienen un impacto en la fisiología de los seres vivos. En el caso específico de las plantas cultivadas, se han observado efectos negativos en la etapa reproductiva que ocasionan asincronía tanto en floración como en fructificación lo cual se refleja en pérdidas en la producción de alimentos.

Uno de los mayores retos de la humanidad es producir los alimentos necesarios para cubrir la demanda de la población mundial. Sin embargo, esto se complica cuando las condiciones ambientales se vuelven extremas debido al cambio climático. Aunque el incremento en las concentraciones de CO₂ atmosférico puede aumentar la biomasa de las plantas y favorecer el tamaño de los frutos (Mamatha *et al.* 2014), la temperatura alta es uno de los factores climáticos que más afecta el crecimiento, el desarrollo y la reproducción de plantas cultivadas (Garruña *et al.* 2021). El impacto de estos dos factores ambientales sobre las flores tiene un efecto directo en la producción de los alimentos. El objetivo de este trabajo es describir los efectos que la temperatura alta y el CO₂ atmosférico elevado producen sobre las flores de hortalizas.

^φ ¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico, 97345, Conkal, Yucatán, México. ²CONAHCYT-Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico, 97305, Conkal, Yucatán, México.

*Autor por correspondencia: rene.garruna@itconkal.edu.mx

DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.5517>



La temperatura alta en la reproducción de las plantas

El incremento de la temperatura atmosférica produce estrés en las plantas (Garruña-Hernández *et al.* 2012), y cuando la exposición a estas condiciones ambientales es constante el ciclo biológico de los vegetales es afectado porque inhibe la germinación de las semillas, altera los niveles hormonales, limita la fotosíntesis y modifica la concentración de los metabolitos secundarios (Jarma-Orozco *et al.* 2012). Sin embargo, uno de los problemas principales se presenta en la etapa reproductiva porque la temperatura alta puede modificar la fenología floral y ocasionar retrasos o adelantos en la etapa de floración (Jagadish *et al.* 2016).

La flor son hojas modificadas que protegen a los gametos masculinos y femeninos y cuentan con la capacidad de autopolinizarse o de realizar la fecundación cruzada para intercambiar material genético y formar frutos (Darwin 2009). Las estructuras protectoras son sépalos y pétalos y las reproductoras los estambres y pistilo. El sistema reproductor masculino tiene estambres que se dividen en: 1) anteras con los granos de polen y 2) los filamentos: estructuras que sostienen a las anteras. El sistema reproductor femenino tiene tres estructuras: 1) el estigma: receptáculo donde se posa el polen, 2) el estilo: tubo que une al estigma con el ovario, y 3) el ovario: órgano que contiene los óvulos. Sin embargo, estas estructuras pueden variar entre las angiospermas (Miller *et al.* 2011). La sensibilidad de los órganos reproductores de las plantas a la temperatura alta se puede observar en el desarrollo del botón floral (pre-antesis), en la apertura de la flor (antesis) y en la polinización. Esto afecta la morfología de la flor, reduce la viabilidad del polen y de los óvulos, e induce el aborto de las flores (Jagadish *et al.* 2016).

ISSN 2007 - 431 X

“...uno de los problemas principales se presenta en la etapa reproductiva porque la temperatura alta puede modificar la fenología floral y ocasionar retrasos o adelantos en la etapa de floración”

El CO₂ en la reproducción de las plantas

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero en la atmósfera y es uno de los causantes del aumento de la temperatura porque los gases de efecto invernadero absorben el calor de la radiación del sol y calientan la superficie del planeta; sin embargo, el CO₂ tiene un efecto fertilizante en las plantas, debido a que es el sustrato principal utilizado en la fotosíntesis (Garruña-Hernández *et al.* 2012).

De acuerdo con los registros del Observatorio de Monitoreo Global de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) la concentración atmosférica promedio de CO₂ a inicios de 2024 ha superado las 420 ppm. Por lo tanto, las condiciones ambientales con concentraciones de CO₂ superiores al promedio se

consideran atmósferas con CO₂ elevado. Cuando las plantas están expuestas de manera constante a condiciones atmosféricas con CO₂ elevado puede haber efectos positivos, en plantas de tomate aumentó la producción de la biomasa (Jarma-Orozco *et al.* 2012), en chile la fotosíntesis (Garruña-Hernández *et al.* 2012), en soya el tamaño de las flores (Koti *et al.* 2005) y en frijol la producción del néctar (Osborne 1997).

Temperatura alta y CO₂ elevado en la floración de tomate y chile

El tomate y el chile son dos de las hortalizas principales cultivadas en México. Por su importancia gastronómica y cultural, se consideran dentro de las hortalizas más consumidas. Sin embargo, su producción está amenazada por el efecto del cambio climático. Para estudiar la susceptibilidad de las flores de tomate y chile ante el aumento de la temperatura y el CO₂, en el Instituto Tecnológico de México, Campus Conkal, Yucatán, se habilitaron cuatro cámaras de crecimiento para simular los efectos del cambio climático en hortalizas. Estas cámaras cuentan con dos temperaturas (Alta = 40 °C y Baja = 30 °C) y dos concentraciones de CO₂ (Elevado = 1200 ppm y Bajo = 400 ppm): C1 = 30 °C/400 ppm de CO₂, C2 = 30 °C/1200 ppm de CO₂, C3 = 40 °C/400 ppm de CO₂ y C4 = 40 °C/1200 ppm de CO₂. Se están usando una variedad de tomate tipo saladette (*Solanum lycopersicum*), una de chile habanero (*Capsicum chinense*) y una de chile dulce (*C. annuum*).

A diferencia de las plantas cultivadas a temperatura baja (30 °C), en el tomate la temperatura alta (40 °C) retrasó de dos a cuatro días la apertura de la flor (antesis), alargó y estrechó los pétalos y sépalos, y disminuyó la pigmentación de los pétalos (Fig. 1). En chile dulce, la temperatura alta redujo el tamaño de las flores dejándolas con apariencia marchita y con los ápices doblados (Fig. 1). Estas modificaciones afectan su desempeño ecológico porque una flor pequeña y carente de pigmentación no es atractiva para los polinizadores y en consecuencia se reduce la producción de frutos y semillas (Mu *et al.* 2010).

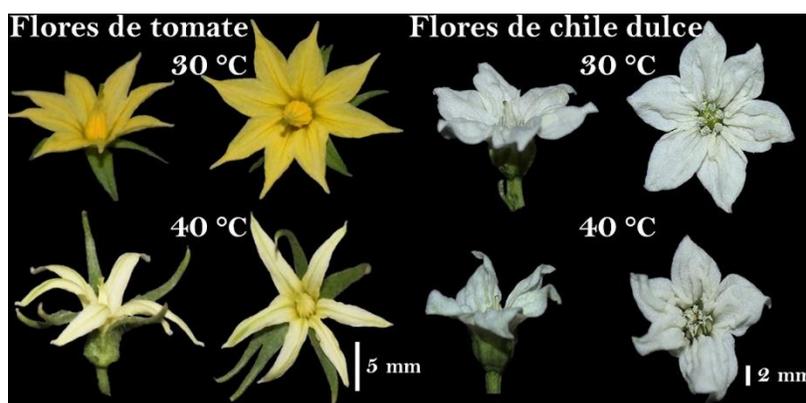


Figura 1. Vista lateral y frontal de flores en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile dulce (*Capsicum annuum*) cultivadas en diferente temperatura (30 y 40 °C).

Los tiempos de floración (fenología floral o fase reproductiva) se modifican cuando hay cambios en la temperatura del aire. En el caso de chile habanero, la temperatura alta retrasó la floración 13 días, pues a 30 °C la floración inició a los 64 días después de la siembra y a los 40 °C comenzó hasta los 77 días (Fig. 2). Por lo tanto, el aumento de la temperatura también retrasó la fructificación, porque es la fase siguiente a la floración. El aumento de CO₂ atmosférico no evitó los retrasos ocasionados por la temperatura alta en ninguna de las dos fases (Fig. 2). Cualquier retraso en la cosecha de frutos repercute en la economía de los productores, porque significa más días de cuidado y atención en las plantas.

“El incremento en las concentraciones atmosféricas de CO₂ puede aumentar la producción de biomasa en tomate, la fotosíntesis en chile, el tamaño de las flores en soya y la producción del néctar en frijol.”

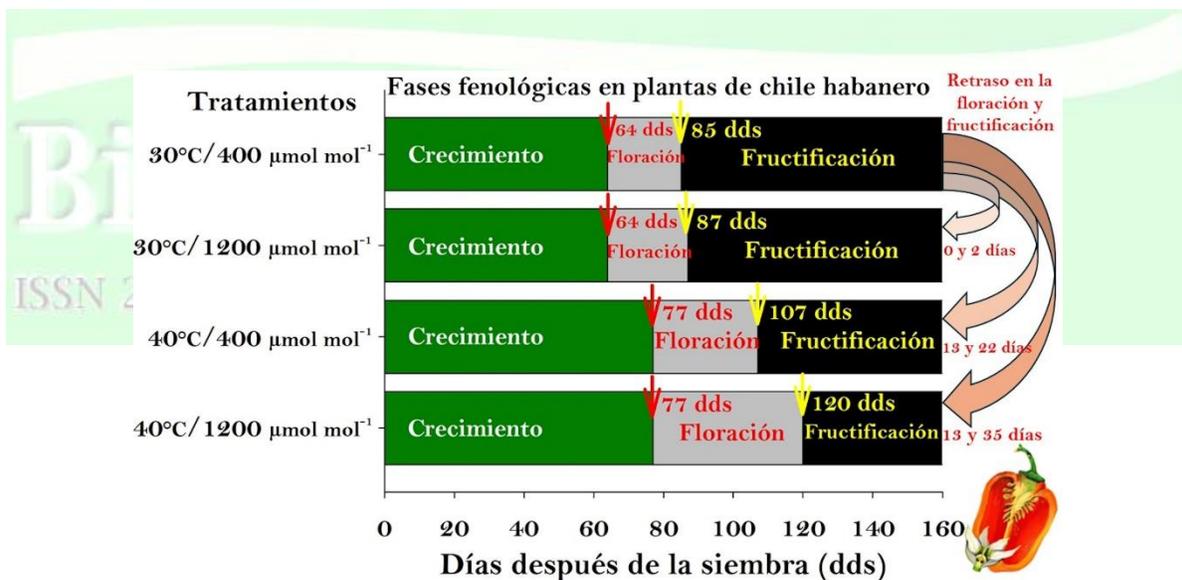


Figura 2. Tiempo a la floración y fructificación de plantas de chile habanero (*Capsicum chinense*) cultivadas en ambientes con diferente temperatura y concentración de CO₂ (30°C/400 ppm de CO₂, 30°C/1200 ppm de CO₂, 40°C/400 ppm de CO₂ y 40°C/1200 ppm de CO₂).

Además de los desfases en las etapas de las plantas, la temperatura alta también ocasionó afectaciones. Las anteras fueron los órganos más dañados por la temperatura alta, probablemente porque son las estructuras más expuestas al ambiente. Tanto en chile como en tomate, el tamaño de las anteras, del estilo y del ovario se redujo, así como la cantidad de óvulos. Pero en chile las inflorescencias tuvieron un desarrollo anormal. Se observaron aglomerados de entre siete hasta veinte flores con apariencia acampanada por axila, cuando lo

normal es encontrar entre tres y cuatro flores abiertas por axila (Fig. 3). La forma acampanada en las flores obstaculiza a las anteras y evita la dispersión del polen.

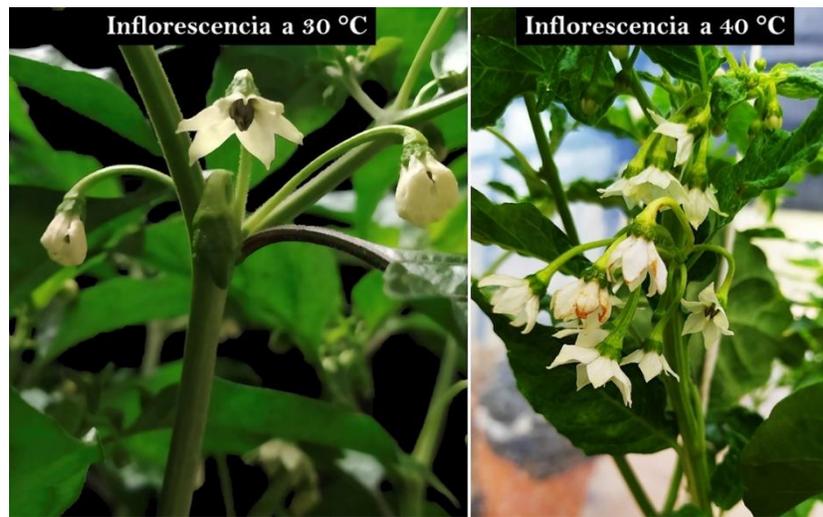


Figura 3. Inflorescencia en planta de chile habanero con desarrollo normal (3-4 flores por axila) cultivada a 30 °C (izquierda) e inflorescencia en planta de chile habanero cultivada a 40 °C (derecha) con presencia de aglomerado de flores (más de 7 flores por axila) acampanadas en las axilas.

El aumento de CO₂ (1200 μmol mol⁻¹) a su vez incrementó el tamaño de sépalos, pétalos, anteras y estilo. Además, aumentó la cantidad y la viabilidad del polen (Fig. 4), pero esto sólo ocurrió a temperatura baja (30 °C). Esto quiere decir que el aumento en la concentración atmosférica de CO₂ no logra contrarrestar los efectos negativos que ocasiona la temperatura alta en las flores de hortalizas como el tomate y el chile (Fig. 4).

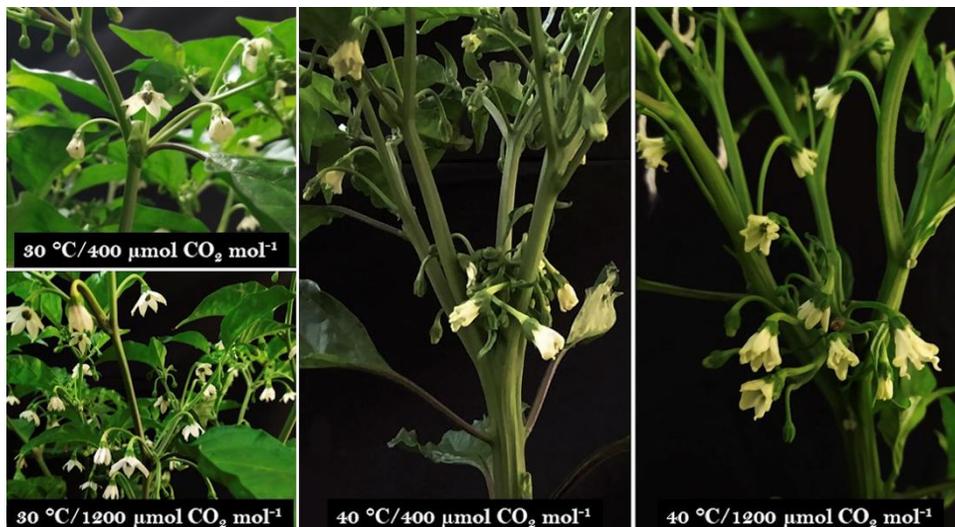


Figura 4. Plantas de chile habanero con inflorescencia normal cultivadas en 30 °C/400 ppm de CO₂ (izquierda), plantas con mayor número inflorescencias normales cultivadas en 30 °C/1200 ppm de CO₂ (medio) y plantas con inflorescencias anormales y flores con afectaciones en la morfología cultivadas en 40 °C/400 ppm de CO₂ y 40 °C/1200 ppm de CO₂ (derecha).

Las plantas en estrés por temperatura alta no son capaces de sintetizar la cantidad necesaria de azúcares para mantener sus requerimientos durante la etapa reproductiva. Esto afecta las características de la flor, sobre todo la cantidad y viabilidad del polen, así como el desarrollo del tubo polínico (Müller y Rieu 2016).

“...el aumento en la concentración atmosférica de CO₂ no logra contrarrestar los efectos negativos que ocasiona la temperatura alta en las flores de hortalizas como el tomate y el chile”.

A pesar de que el ovario es tolerante al calor, en las flores de tomate y chile se redujo su tamaño y por lo tanto el número de óvulos. Al respecto, Tarchoun *et al.* (2013) reportaron que la temperatura alta afecta el tamaño de los óvulos y este efecto provoca malformaciones en los frutos y en las semillas de chile. Es evidente que el aumento en la temperatura tiene efectos adversos sobre las flores de plantas hortícolas. Se esperaría que por su efecto fertilizante el incremento en la concentración atmosférica de CO₂ pudiera evitar esos efectos. Sin embargo, es poco probable que el aumento del CO₂ disminuya los efectos negativos causados por la temperatura alta (Chabot y Chabot 1997).

Conclusión

El incremento en la temperatura promedio de la atmósfera representa un grave problema en la reproducción de las plantas, especialmente en las que son cultivadas para sustento humano. Esto altera su ciclo reproductivo, desde la formación de los meristemos florales hasta la formación anormal de los órganos masculinos y femeninos. Por lo tanto, la producción de frutos se ve amenazada y se convierte en un grave problema por resolver en un mundo donde cada día se vuelve más complejo asegurar la alimentación humana en condiciones de cambio climático.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por el financiamiento del proyecto de Ciencia Básica No. 286756.

Referencias

- Chabot BF y Chabot JF. 1997. Effects of light and temperature on leaf anatomy and photosynthesis in *Fragaria vesca*. *Oecologia* 26: 363-377
- Darwin C. 2009. Las distintas formas de las flores en plantas de la misma especie. Primera edición. CSIC. Londres. 288 pp.

- Garruña-Hernández R, Canto A, Mijangos-Cortés JO, Islas I, Pinzón L y Orellana R. 2012. Changes in flowering and fruiting of Habanero pepper in response to higher temperature and CO₂. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10(3&4): 802-808
- Garruña R, Pereyda-González J, Oliva-Ruíz M, Rodríguez-Castellanos A, Castillo-Colli M, Ríos-Bolívar F y Cetina-Escalante R. 2021. Hortalizas tropicales: súper plantas ante el cambio climático. *Bioagrociencias* 14(1): 46-55
- Jagadish SVK, Bahuguna RN, Djanaguiraman M, Gamuyao R, Prasad PVV y Craufurd PQ. 2016. Implications of high temperature and elevated CO₂ on flowering time in plants. *Frontiers in Plant Science* 7:913
- Jarma-Orozco A, Cardona-Ayala C y Araméndiz-Tatis H. 2012. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 15(1): 63-76
- Koti S, Reddy KR, Reddy VR, Kakani VG y Zhao D. 2005. Interactive effects of carbon dioxide, temperature, and ultraviolet-B radiation on soybean (*Glycine max* L.) flower and pollen morphology, pollen production, germination, and tube lengths. *Journal of Experimental Botany* 56(412): 725-736
- Mamatha H, Srinivasa-Rao NK, Laxman RH, Shivashankara KS, Bhatt RM y Pavithra KC. 2014. Impact of elevated CO₂ on growth, physiology, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Arka Ashish. *Photosynthetica* 52(4): 519-528
- Miller R, Owens SJ y Rørslett B. 2011. Plants and colour: flowers and pollination. *Optics and laser Technology* 43(2): 282-294
- Mu J, Li G y Sun S. 2010. Petal color, flower temperature, and behavior in an alpine annual Herb, *Gentiana leucomelaena* (Gentianaceae). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 42(2): 219-226
- Müller F y Rieu I. 2016. Acclimation to high temperature during pollen development. *Plant Reproduction* 29(1-2): 107-118
- Osborne JL, Awmack CS, Clark SJ, Williams IH y Mills VC. 1997. Nectar and flower production in *Vicia faba* L (field bean) at ambient and elevated carbon dioxide. *Apidologie* 28: 43-55
- Tarchoun N, Teixeira da Silva JA, Mahmoud M y Mougou A. 2013. Assessment of abnormalities in reproductive organs of hot pepper induced by low night temperature. *International Journal of Vegetable Science* 19: 177-187

Castillo M y Garruña R. 2024. Alteraciones en las flores de hortalizas por incremento de temperatura y CO₂ en la atmósfera. *Bioagrociencias* 17 (1): 105-111.
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.5517>