

# Hortalizas tropicales: súper plantas ante el cambio climático

René Garruña<sup>1\*</sup>, Jade Pereyda-González<sup>2</sup>, Miguel Oliva-Ruíz<sup>2</sup>, Ariadna Rodríguez-Castellanos<sup>2</sup>,  
Mauricio Castillo-Colli<sup>2</sup>, Fabiola M. Ríos-Bolívar<sup>3</sup> y Ricardo R. Cetina-Escalante<sup>2</sup>

## Introducción

**L**as hortalizas son legumbres, o verduras de ciclo vegetativo corto (entre 60 y 80 días), que comúnmente se consumen frescas. Su parte comestible se caracteriza por tener un alto contenido en agua (85-98%) y son importantes en el balance de la dieta en el ser humano por su aportación nutricional, sobre todo de vitaminas y minerales.

Existen cerca de 120 especies de hortalizas que se utilizan en la alimentación humana y algunas de las más importantes pertenecen a las familias Solanaceae, Leguminosae, Cucurbitaceae, Umbelliferae y Chenopodiaceae (Castaños 2000).

A nivel mundial, se estima que al menos tres mil millones de personas de países en desarrollo están desnutridas debido a la falta de alimentos, por lo que la producción de hortalizas es una alternativa para la seguridad alimentaria (Schreiner et al. 2013). Ésta es definida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura como un estado donde todas las personas gocen, en forma oportuna y permanente, de acceso físico, económico y social a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad, para su adecuado consumo y utilización (FAO 2019).

Actualmente, uno de los problemas en el sector hortícola es la vulnerabilidad de muchas especies al incremento de la temperatura debido al cambio climático. De todos los factores climáticos, la temperatura es el que más influye sobre el crecimiento y el desarrollo de las hortalizas (Castaños 2000). El objetivo de este trabajo es presentar los mecanismos fisiológicos

que utilizan las hortalizas para adaptarse a las condiciones ambientales de las zonas tropicales, pues son la clave en la selección de especies o variedades hortícolas con potencial de adaptación a las condiciones que se proyectan debido al cambio climático.

## **El cambio climático y sus consecuencias en la agricultura**

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cambio climático es “el cambio del clima en el transcurso del tiempo debido a la variabilidad natural o a las actividades humanas”. El clima es producto de una compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo, los continentes y la biodiversidad (IPCC 2007). Los cambios climáticos son un proceso natural en la historia que en ocasiones han sido favorecedores (Zalasiewicz et al. 2021).

El inicio de la agricultura estuvo relacionado con el cambio climático del Holoceno temprano, donde el aumento en la temperatura, tanto de la zona tropical y subtropical, facilitó el establecimiento permanente de las sociedades humanas, las cuales pasaron de ser nómadas a ser agricultores con actividades de caza por selección y pastoreo (Rottenberg 2017). Este cambio en las sociedades humanas permitió los asentamientos, que a su vez generaron la domesticación de plantas y animales (Gupta 2004). Sin embargo, a partir de la revolución industrial incrementó la concentración atmosférica del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) derivado de las actividades humanas, lo que generó un aumento en la temperatura promedio en la atmósfera, afectando la temperatura promedio y máxima extrema en algunas regiones en el mundo (Peter 2018).

La tendencia ascendente en la temperatura del planeta podría afectar considerablemente la fenología, anatomía, morfología y fisiología de las plantas (Lloyd y Farquhar 2008). Esto ocasionaría una redistribución geográfica y, en algunos casos, la extinción de especies vegetales. Las respuestas de las plantas ante el incremento en la temperatura del aire, o en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> pueden ser diversas, pero de manera general el aumento de la temperatura limita los procesos fisiológicos primarios en ellas (Hikosaka et al. 2006), mientras que el incremento en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> los favorece (LaDeau y Clark 2001).

Se espera que el cambio climático modifique las condiciones geográficas de los sistemas de producción agrícola, pero es probable que la productividad de estos sistemas se vea afectada por la reubicación de las zonas productoras (Kumari et al. 2019). Por tal motivo, es necesario buscar variedades vegetales que puedan adaptarse a las nuevas condiciones climáticas.

## El CO<sub>2</sub> atmosférico, la temperatura del planeta y las plantas

Según estudios en núcleos de hielo extraídos del permafrost en la Antártida, la concentración más baja de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del planeta fue alrededor de 180 partes por millón (ppm) y se registró entre 650,000 y 750,000 años antes del presente (Lüthi et al. 2008). Desde esa época, y a pesar de los cambios climáticos naturales del planeta, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> se mantuvo con una fluctuación constante entre 180 y 260 ppm (Siegenthaler et al. 2005). Cuando comenzó la agricultura con el cambio del uso del suelo, la concentración incrementó ligeramente de 260 hasta 278 ppm. Sin embargo, fue a partir de 1760, con el inicio de la revolución industrial en Europa, cuando comenzó un incremento acelerado en los gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>. Este aumento fue tan exponencial que en enero de 2019 el observatorio atmosférico ubicado en el volcán Mauna Loa en Hawái registró una concentración de 411 ppm de CO<sub>2</sub>.

Un efecto colateral del aumento del CO<sub>2</sub> es el incremento en la temperatura promedio del planeta. Se proyecta que las regiones más alejadas del Ecuador serán las que sufrirán cambios más drásticos en la temperatura, pero las zonas tropicales en general alcanzarán temperaturas históricas. Estos cambios en los patrones climáticos ya se empiezan a observar y tendrán un impacto ecológico en la mayoría de los organismos vivos. En algunos experimentos en plantas se han observado malformaciones ocasionadas por el efecto de las temperaturas altas (Figura 1).



Figura 1. Inflorescencia de chile habanero (*Capsicum chinense*) cultivada a 30° (A) e inflorescencia con malformación en plantas cultivadas a 40 °C (B).

Si bien es cierto que las plantas se benefician del CO<sub>2</sub>, también es verdad que los vegetales tienen un rango de temperatura óptimo para realizar sus procesos fisiológicos. Fuera de estos rangos, muchas especies entran en letargo fisiológico, disminuyendo su ritmo metabólico para tratar de sobrevivir, lo cual afecta su proceso de reproducción. En el caso de las plantas de interés agrícola, esto ocasionará mermas en su productividad, es decir, es probable que los beneficios que obtendrán las plantas al incrementar el CO<sub>2</sub> atmosférico no serán suficientes para contrarrestar los efectos perjudiciales que ocasionará el incremento de la temperatura y como consecuencia habrá una afectación en la producción agrícola.

### La seguridad alimentaria ante el cambio climático

Se estima que para el 2050 la población mundial llegará a 9,700 millones de habitantes (ONU 2021). Esto implicaría que la producción agrícola incremente considerablemente para garantizar la seguridad alimentaria. Esto quiere decir que todas las personas gocen de manera oportuna y permanente de los alimentos que necesitan en cantidad y calidad. Sin embargo, las mayores pérdidas asociadas al cambio climático se han registrado en la producción de alimentos, específicamente en la producción de frutas y hortalizas, donde se estima que las pérdidas ascienden a un 21.6% (FAO 2019). Con mayor densidad poblacional y condiciones climáticas desfavorables para la agricultura, se vislumbra un panorama global caótico. Posiblemente, muchas especies vegetales se extinguirán por la falta de adaptación a las condiciones ambientales futuras mientras que otras tendrán que ser reubicadas para poder seguir manteniendo cierta productividad.

De acuerdo con las proyecciones, se espera que cada década adicional de cambio climático reduzca los rendimientos medios en aproximadamente el 1%, lo cual parece ser una fracción pequeña, pero es preocupante si consideramos que el ritmo demandante por el incremento de la población requerirá aumentar 14% la productividad agrícola por década para poder garantizar la seguridad alimentaria (Porter et al. 2014).

### Las hortalizas en las regiones tropicales

Algunas hortalizas que se cultivan en regiones tropicales pueden tolerar temperaturas cercanas a los 40 °C, bajo una radiación fotosintéticamente activa superior a los 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . En estas regiones es suficiente permanecer unos minutos expuestos al sol del mediodía para sorprenderse de la capacidad que tienen las hortalizas para tolerar la sensación térmica. Es difícil comprender que algunas hortalizas “tropicalizadas”, como el tomate (*Solanum lycopersicum*), el chile (*Capsicum*

spp), la calabaza (*Cucurbita* spp), la sandía (*Citrullus lanatus*), el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), el melón (*Cucumis melo*) y el pepino (*Cucumis sativus*) puedan realizar sus funciones normales bajos las condiciones ambientales características del trópico (temperatura cercana a los 40 °C y humedad relativa superior a 75%) (Figura 2).



Figura 2. Planta de chile habanero (*Capsicum chinense*) cultivada en condiciones tropicales de la Península de Yucatán.

Desde hace tiempo, se ha argumentado que en el trópico las plantas dejan de fotosintetizar durante ciertos periodos del día, por un cierre estomático cuando se presentan las temperaturas más elevadas (Hofstra y Hesketh 1969). Sin embargo, con suficiente disponibilidad de agua las hortalizas pueden continuar sus funciones normales aunque las temperaturas estén cercanas a los 40 °C. Esta adaptación de la hortaliza se explica con relación al cuerpo de la planta, que puede funcionar como un radiador perfectamente sincronizado con la temperatura del aire. Por ejemplo, ante el incremento de la temperatura del aire aumenta la conductancia estomática. Esto incrementa la tasa de transpiración para disminuir la temperatura de la hoja. Así, se incrementa

el déficit de temperatura (temperatura del aire – temperatura de la hoja) y las plantas mantienen sus funciones fisiológicas (Garruña-Hernández et al. 2014). Algo que parece tan sencillo llevó miles de años de evolución, donde la plasticidad de las plantas ante nuevos ambientes desempeñó un rol fundamental en la adaptación de ciertas variedades, la radiación geográfica y la especiación de las plantas tropicales. Esto es más visible en las hortalizas que tienen sus orígenes en zonas templadas y terminaron adaptadas a zonas calurosas, donde actualmente se cultivan con éxito y son fundamentales en la alimentación de la población en el mundo.

### **Mecanismos de reparación en las hortalizas tropicales**

Las plantas son consideradas sésiles debido a que viven fijas a un sustrato que es el suelo. Por tanto, esto ocasiona que durante gran parte de su ciclo biológico estén expuestas a factores abióticos, como son las lluvias excesivas, sequías, cambios bruscos de temperatura y la exposición a la luz solar. Éste último factor es de suma importancia, dado que las plantas requieren de luz para la fotosíntesis; sin embargo, las altas radiaciones de luz pueden ocasionar un daño en la maquinaria fotosintética, principalmente en el fotosistema II (PSII) por degradación de la proteína D1, lo cual se conoce como fotoinhibición (Li et al. 2018). El daño a la proteína D1 es directamente proporcional a la intensidad de la luz. Esto quiere decir que en zonas tropicales la radiación solar, en forma de luz visible (radiación fotosintéticamente activa), suele ser excesiva para cualquier organismo vivo. La radiación alta ocasiona un incremento en la temperatura del aire, y por lo tanto las plantas son fotoinhibidas debido a las condiciones ambientales adversas. Sin embargo, en muchas hortalizas tropicales se ha observado una plasticidad fotosintética, lo cual les permite soportar las inclemencias ocasionadas por la temperatura y la radiación excesiva.

Si la proteína D1 se degrada, ésta puede ser sintetizada en una “síntesis de novo” permitiendo la recuperación del fotodaño en la planta. Si esto no ocurre, entonces el daño es irreversible ocasionando la muerte de la planta. En los últimos años, en el Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal, del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México, se ha estudiado la proteína D1 como un factor clave para el funcionamiento y la adaptación de las plantas hortícolas (hortalizas) ante escenarios de cambio climático (Figura 3) y destacar que dicha proteína es el común denominador de las hortalizas como “súper” plantas, que son capaces de vivir en condiciones ambientales extremas y producir alimentos benéficos para el ser humano.





Figura 3. Área experimental de cambio climático (A) y cámaras de simulación atmosférica (B) en el Instituto Tecnológico de Conkal en Yucatán, México.

Hasta el momento, se ha trabajado con plantas de tomate (híbrido y criollo) y chile (chile habanero y chile dulce). Los resultados sobre la regeneración de la proteína D1 en este tipo de cultivos son prometedores a mediano plazo y se podría contar con resultados específicos sobre los mecanismos fisiológicos de las plantas hortícolas cultivadas en las condiciones del trópico, lo cual podría ser un criterio importante para seleccionar variedades que puedan ser cultivadas en condiciones de cambio climático.

## Conclusiones

Los cambios climáticos han sido una constante en la historia del planeta, pero las actividades antropogénicas han acelerado los procesos climáticos y han alterado los ciclos de las diversas formas de vida. En el caso de las plantas, muchas especies sufrirán por los cambios en los patrones climáticos, mientras que otras se extinguirán por la falta de adaptación a los nuevos ambientes. Las hortalizas cultivadas en el trópico, como el tomate (*Solanum lycopersicum*) y el chile (*Capsicum* spp), se han aclimatado para poder adaptarse a ambientes con radiación, temperatura y humedad

elevadas. Pero esto no hubiera sido posible sin la regeneración de la proteína D1, que participa en la reparación del fotosistema II, el cual es dañado por los factores ambientales característicos del trópico. Por tal motivo, las hortalizas tropicales son consideradas “super” plantas, y son un excelente modelo para estudiar los efectos del cambio climático, pues sus mecanismos de reparación podrían ser la clave para garantizar la seguridad alimentaria a mediano y largo plazo.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento del proyecto de Ciencia Básica No. 286756: “Elucidación del rol de la proteína D1 en la fotosíntesis de hortalizas tropicales en escenarios de cambio climático”.

<sup>1</sup>CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n, CP. 97305, Conkal, Yucatán, México. <sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n, CP. 97345, Conkal, Yucatán, México. <sup>3</sup>Centro de Botánica Tropical, Instituto de Biología Experimental, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Apartado 47114, Caracas 1041-A, Venezuela. \*Autor por correspondencia: [renegh10@hotmail.com](mailto:renegh10@hotmail.com)

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

## Referencias

- Castaños MCM. 2000. Horticultura. Manejo Simplificado. Primera edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 527 pp.
- FAO. 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Food and Agriculture Organization Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- 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* 11: e111402.
- Gupta AK. 2004. Origin of agriculture and domestication of plants and animals linked to early climate amelioration. *Current Science* 87:54-59.



- Hikosaka K, Ishikawa K, Borjigidai A, Muller O y Onoda Y. 2006. Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *Journal of Experimental Botany* 57:291–302.
- Hofstra G y Hesketh JD. 1969. The effect of temperature on stomatal aperture in different species. *Canadian Journal of Botany* 47:1307–1310.
- IPCC. 2007. Summary for policymakers. En: Solomon S *et al.* (eds). *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK: Cambridge University Press. p. 2–22.
- Kumari S, Singh TP y Prasad S. 2019. Climate smart agriculture and climate change. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8: 1112–1137.
- LaDeau SL y Clark JS. 2001. Rising CO<sub>2</sub> levels and the fecundity of forest trees. *Science* 292: 95–98.
- Li L, Aro EM y Millar AH. 2018. Mechanisms of photodamage and protein turnover in photoinhibition. *Trends in Plant Science* 23: 667–676.
- Lloyd J y Farquhar DG. 2008. Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. *Philosophical Transactions of Royal Society of Biological Science* 363: 1811–1817.
- Lüthi D, Floch ML, Bereiter B, Blunier T, Barnola J, Siegenthaler U, Raynaud D, Jouzel J, Fischer H, Kawamura K y Stocker TF. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record. *Nature* 453: 379–382.
- ONU. 2021. Población mundial. Organización de las Naciones Unidas. Fecha de consulta 20/03/2021 en <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Peter SC. 2018. Reduction of CO<sub>2</sub> to chemicals and fuels: a solution to global warming and energy crisis. *ACS Energy Letters* 3: 557–1561.
- Porter JR, Xie L, Challinor AJ, Cochrane K, Howden SM, Iqbal MM, Lobell DB y Travasso MI. 2014. Food security and food production systems. En: Field CB *et al.* (eds). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK: Cambridge University Press. p. 485–533.
- Rottenberg A. 2017. Has agriculture dispersed worldwide from a single origin? *Genetic Resources and Crop Evolution* 64: 1107–1113.
- Schreiner M, Korn M, Stenger M, Holzgreve L y Altmann M. 2013. Current understanding and use of quality characteristics of horticulture products. *Scientia Horticulturae* 163: 63–69.

Siegenthaler U, Stocker TF y Monnin E. 2005. Stable carbon cycle – climate relationship during the late Pleistocene. *Science* 310: 1313–1317.

Zalasiewicz J y Williams M. 2021. Climate change through Earth history. En: Letcher TM (ed). *Climate change: observed impacts on planet Earth*. Netherland: Elsevier. p. 49-65.