

Recibido: 03.05.2023 • Aceptado: 16.08.2024

Palabras clave: Biotecnología, jitomate, nutrición, genes.

Jitomates y biotecnología = jitomates más nutritivos y resistentes

FABIOLA JAIMES MIRANDA
fabiola.jaimes@ipicyt.edu.mx

RICARDO RIVERA SILVA
ricardo.rivera@ipicyt.edu.mx

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica

Estamos viviendo los efectos del cambio climático global: con más inundaciones, sequías y temperaturas cada vez más extremas, por lo que es probable que esta situación se agrave en los próximos años. Las plantas, al ser organismos sésiles, están muy expuestas a estos cambios climáticos, ya que no pueden moverse como los animales. Cuando las plantas sufren deshidratación, altas temperaturas o exceso de agua, como en una inundación, se encuentran bajo estrés abiótico. Este estrés puede tener efectos devastadores en la producción de cultivos comerciales, como el jitomate.

En la investigación de plantas, el jitomate es un modelo para estudiar la maduración de los frutos, esto debido a que su genoma está totalmente secuenciado, lo que permite conocer la identidad de cada uno de sus genes. Además, en los laboratorios se pueden cultivar muchas plantas en un espacio reducido y obtener frutos y semillas en alrededor de tres meses. También es relativamente fácil generar plantas con mutaciones para estudiar funciones genéticas específicas.

Gracias a estas características, en los últimos años se han hecho grandes avances en el conocimiento de los mecanismos moleculares que regulan el crecimiento, desarrollo, reproducción y respuesta al estrés en el jitomate. Esto ha permitido importantes avances biotecnológicos, logrando jitomates con características más atractivas para los consumidores y plantas que pueden soportar condiciones climáticas extremas que antes se consideraban imposibles.

Origen e importancia del jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es un cultivo originario de la zona occidental de América del Sur. En tiempos prehispánicos, fue domesticado y cultivado en la región que hoy es México. El nombre "jitomate" proviene de la palabra en náhuatl *xitomatl*, que significa "ombbligo de fruta de agua", compuesta por *xictli* (ombbligo), *tomohuac* (fruto) y *atl* (agua). En la actualidad, es uno de los cultivos con mayor valor comercial a nivel mundial.

Según las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en 2020 (FAOSTAT, 2020) se produjeron más de 180 millones de toneladas de jitomate en el mundo. Debido a su bajo costo de producción, accesibilidad, facilidad para ser conservado y procesado en diferentes productos alimentarios, así como a su excelente sabor, el jitomate se ha convertido en un ingrediente altamente valorado tanto en la gastronomía mundial como en la industria alimentaria.

Además, el jitomate es una excelente fuente de carbohidratos, vitamina A, vitamina C, potasio, ácido fólico, fibra y una amplia variedad de compuestos antioxidantes como el licopeno, α -caroteno, β -caroteno, luteína y xantinas. Estos compuestos antioxidantes ayudan a neutralizar los radicales libres en las células, lo que podría contribuir a prevenir enfermedades asociadas a ellos, como enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de tumores y enfermedades neurodegenerativas (Alenazi *et al.*, 2020).

Todas estas propiedades han motivado el estudio del jitomate a nivel mundial. Por un lado, se investiga como modelo de fruto y, por otro lado, debido a su alto valor nutricional. En los laboratorios de investigación, se suelen utilizar variedades de jitomate como "MicroTom", "Ailsa Craig" o "Heinz 1706" debido a que son plantas pequeñas y más fáciles de manejar que las variedades comerciales.

A partir de las investigaciones en jitomate, se ha generado una gran cantidad de información que se ha depositado en bases de datos derivadas de proyectos internacionales, como Sol Genomics Network (*Sol Genomics Network, s/f*), donde se ha logrado secuenciar completamente el genoma del jitomate. Además, existen bases de datos de expresión génica como Tomato Expression Atlas (*SGN-TEA, s/f*), TomExpress (*TomExpress, s/f*) y The Bio-Analytic Resource for Plant Biology (*ePlant, s/f*).



El acceso libre a esta información ha impulsado la investigación del jitomate a nivel mundial, acelerando el proceso de creación de nuevas variedades con mayor calidad nutricional, beneficios para la salud y mayor tolerancia a los cambios ambientales, con el fin de reducir las pérdidas agrícolas.

Los jitomates “biotecnológicos”.

El término “biotecnología” fue acuñado en 1919 por el ingeniero húngaro Károly Ereki, quien lo definió como “todos los métodos utilizados para convertir la materia prima en bienes utilizando en alguna etapa organismos vivos o sus productos”. En las últimas tres décadas, la biotecnología ha experimentado un cambio impresionante, especialmente gracias a la ingeniería genética, lo que ha permitido la modificación puntual del ADN vegetal para desarrollar plantas con características deseables para los seres humanos.

Un ejemplo destacado del desarrollo biotecnológico aplicado a plantas son los jitomates morados comercializados por la empresa Norfolk Plant Sciences, con sede en Boston, Massachusetts, y Davies, California, Estados Unidos. Estos jitomates modificados genéticamente obtienen su color morado gracias a la abundante producción de antocianinas, compuestos solubles en agua responsables de los tonos rojizos a púrpuras en frutas y cereales, y que además poseen propiedades antioxidantes.

Normalmente, las plantas de jitomate producen antocianinas como mecanismo de defensa contra estímulos ambientales como la luz UV y las bajas temperaturas. En algunas variedades, las antocianinas también se acumulan en los frutos para atraer a polinizadores y dispersores de semillas debido a su color característico. Sin embargo, en la mayoría de las variedades de jitomate, los genes responsables de la síntesis de antocianinas están poco activos durante el desarrollo y la maduración del fruto.

Por otro lado, existen variedades como la *Indigo Rose Cherry* que producen altas cantidades de antocianinas en la piel del fruto, generando un color morado intenso solo en esta parte. En contraste, los jitomates mejorados mediante herramientas biotecnológicas por Norfolk Plant Sciences son totalmente morados debido a la alta producción de antocianinas en todas las células del fruto.



Figura 1
Jitomates de laboratorio.
Créditos: Imagen propia.



Figura 2
Jitomate variedad Indigo rose Cherry.
Créditos: Specialty Produce https://specialtyproduce.com/produce/Indigo_RoseTomatoes_8548.php

Este aumento en la producción de antocianinas se logra mediante la inserción de dos genes de una flor llamada "boca de dragón" o Snapdragon en el ADN del jitomate. Estos genes actúan específicamente en los frutos, sin afectar el color de la planta ni otras características como la producción de flores.

Norfolk Plant Sciences destaca en su sitio web que las antocianinas tienen numerosas propiedades beneficiosas, como propiedades antiinflamatorias, útiles para el tratamiento de úlceras y diabetes, así como actividad antiviral, antimicrobiana y una alta capacidad antioxidante. Por lo tanto, sugieren que consumir estos jitomates con altas concentraciones de antocianinas podría ser beneficioso para la salud (Butelli *et al.*, 2008).

Otro ejemplo notable son los jitomates con un alto contenido de ácido gama-aminobutírico (GABA), un compuesto que funciona como neurotransmisor. Sanatech Seed, la empresa japonesa que los comercializa promueve que el consumo de GABA ayude a mantener niveles bajos de presión arterial y contribuya a la relajación. El desarrollo de estos jitomates fue realizado por el equipo del Dr. Hiroshi Ezura en la Universidad de Tsukuba, Japón. Los investigadores estudiaron los genes glutamato descarboxilasa (GAD), que son clave en la biosíntesis y catabolismo del GABA. Normalmente, en los frutos de jitomate, los genes GAD se autorregulan para mantener niveles constantes de GABA, ya que este compuesto participa en el crecimiento y desarrollo del jitomate. Para aumentar los niveles de GABA en los jitomates, se utilizó la tecnología de edición génica conocida como CRISPR-Cas9. Con esta tecnología, se eliminaron los dominios de autorregulación de los genes GAD2 y GAD3, que se expresan específicamente durante la maduración del jitomate. Esto permitió incrementar la biosíntesis de GABA, logrando una acumulación de este compuesto entre 7 y 15 veces más alta en comparación con los frutos silvestres (Nonaka *et al.*, 2017).

Además, investigadores de la Universidad de Hainan, en China, están llevando a cabo estudios para desarrollar variedades de jitomate tolerantes al estrés causado por altas concentraciones de sal. Este grupo de investigación especializado en estrés salino en plantas logró generar plantas que contenían una menor cantidad de una



Figura 3
Jitomate con alto contenido de antocianinas.
Créditos: Norfolk Plant Sciences <https://www.norfolkhealthyproduce.com/>



Figura 4
Jitomate con alto contenido de GABA.
Créditos: Sanatech Seed <https://sanatech-seed.com/en/20210915-2/>



molécula de microRNA llamado miR164a. Se ha observado que las plantas con niveles reducidos de miR164a son más tolerantes al estrés salino. El estrés salino puede ocurrir cuando se utiliza agua de riego con niveles elevados de sales, lo que limita la disponibilidad de agua para la planta y conduce a una acumulación tóxica de sales en el suelo; esto afecta negativamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Los investigadores concluyeron que una menor cantidad de miR164a en las plantas de jitomate proporcionaba tolerancia al estrés salino. Además, observaron que estas plantas, con niveles reducidos de miR164a, cuando estaban sometidas a estrés salino generaban una mayor concentración de sólidos solubles, ácido salicílico, carotenoides y licopeno. Por lo tanto, se han obtenido plantas de jitomate que pueden crecer en condiciones de estrés salino y además tienen una mayor calidad nutricional. Aunque estas plantas aún no están disponibles comercialmente, representan un ejemplo de los esfuerzos que se están realizando para hacer frente a los cambios climáticos globales (Wan *et al.*, 2023).

¿Qué estamos investigando?

En el Laboratorio de Genómica de Frutos, Plantas y Levaduras del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), estamos investigando cómo se regula la expresión de genes involucrados en la respuesta al estrés y durante el proceso de maduración del jitomate. Utilizamos herramientas biotecnológicas para generar mutaciones puntuales en el genoma del jitomate, y gracias a estas modificaciones, hemos observado cambios fenotípicos beneficiosos. Por ejemplo, se ha observado un desarrollo acelerado y la generación de más flores en las plantas, lo que podría significar un incremento en la producción de jitomate en comparación con las plantas silvestres. Además, realizamos experimentos para medir la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés. Nuestro trabajo tiene diferentes

Se han obtenido plantas de jitomate que pueden crecer en condiciones de estrés salino y además tienen una mayor calidad nutricional.



FABIOLA JAIMES MIRANDA

Egresada de la carrera de Químico de Alimentos de la Facultad de Química de la UNAM. Maestría en Bioquímica vegetal en la Facultad de Química de la UNAM. Estudios de doctorado en L'École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse perteneciente a L'Institut National Polytechnique de Toulouse, en Francia. Actualmente se desempeña como investigadora por México en la División de Biología Molecular CONHACYT-IPICYT, trabajando en proyectos de estrés y maduración de frutos.

finalidades: En primer lugar, buscamos incrementar el conocimiento existente sobre la función de los genes en las plantas de jitomate para defenderse de condiciones estresantes que afectan su crecimiento y desarrollo. En segundo lugar, queremos aplicar este conocimiento para hacer frente a las consecuencias del cambio climático sobre los cultivos de importancia alimenticia, como el jitomate, ya que la seguridad alimentaria en nuestro país está en riesgo. ^{UP}

Agradecimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento a través del proyecto Conacyt-Ciencias Básicas A1-S-7679 y por la beca otorgada 861546.

Referencias bibliográficas:

- Butelli, E., Titta, L., Giorgio, M., Mock, H.-P., Matros, A., Peterek, S., Schijlen, E. G. W. M., Hall, R. D., Bovy, A. G., Luo, J., & Martin, C. (2008). Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nature Biotechnology*, 26(11), 1301–1308. <https://doi.org/10.1038/nbt.1506>
- ePlant, s/f ePlant. (s/f). Utoronto.ca. Recuperado el 19 de agosto de 2024, de https://bar.utoronto.ca/eplant_tomato/
- FAOSTAT, 2020 FAOSTAT. (2020). Fao.org. Recuperado el 18 de agosto de 2024, de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Gupta, V., Sengupta, M., Prakash, J., & Tripathy, B. C. (2017). An introduction to biotechnology. En *Basic and Applied Aspects of Biotechnology* (pp. 1–21). Springer Singapore.
- Nonaka, S., Arai, C., Takayama, M., Matsukura, C., & Ezura, H. (2017). Efficient increase of γ -aminobutyric acid (GABA) content in tomato fruits by targeted mutagenesis. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06400-y>
- SGN-TEA. (s/f). Solgenomics.net. Recuperado el 19 de agosto de 2024, de <https://tea.solgenomics.net/>
- Sol Genomics Network, s/f Sol Genomics Network. (s/f). Solgenomics.net. Recuperado el 19 de agosto de 2024, de <https://solgenomics.net/>
- TomExpress, s/f Welcome! (s/f). Inra.Fr. Recuperado el 19 de agosto de 2024, de <http://tomexpress.toulouse.inra.fr/>
- Wan, X., Wang, Z., Duan, W., Huang, T., Song, H., & Xu, X. (2023). Knockdown of Sly-miR164a enhanced plant salt tolerance and improved preharvest and postharvest fruit nutrition of tomato. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4639. <https://doi.org/10.3390/ijms24054639>

