

INDUCCIÓN DE FLORACIÓN POR BIOTECNOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO ACELERADO DE ÁRBOLES DE AGUACATE

Urrea-López, Rafael

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco, AC (CIATEJ),
Unidad Noreste, México. Correo-e: rurrea@ciatej.mx

Resumen

Con una producción de 1'644,225t de aguacate en 2015, México se consolidó como el principal productor y exportador de aguacate a nivel mundial, su alta demanda internacional lo convirtió en la estrella del portafolio agrícola internacional de México, al ingresar divisas por valor de US\$1,920 millones, equivalentes al 17% del valor total de las exportaciones agrícolas. Sin embargo, su producción enfrenta diferentes amenazas bióticas y abióticas, exacerbadas en su magnitud y frecuencia por el rápido calentamiento climático. México requiere con urgencia acelerar el mejoramiento de variedades con mayor rendimiento y tolerancia a condiciones de estrés, pero el prolongado proceso de mejoramiento genético por métodos tradicionales supone un grave riesgo para la conservación y el aprovechamiento de la riqueza genética de esta importante especie. En la actualidad una de las alternativas con mayor potencial para acelerar el mejoramiento genético de especies perennes es la manipulación de las rutas genéticas endógenas de floración, como el gen *FT* un integrador fundamental en la ruta de floración muy conservado entre las angiospermas. La sobreexpresión vía ingeniería genética de *FT* ha contribuido a reducir los largos tiempos entre cruza sexuales, superando barreras naturales para el desarrollo de nuevas variedades, así como para segregar genes de resistencia a enfermedades en variedades de interés comercial. Los adelantos en estrategias biotecnológicas permiten emplear técnicas de modificación genética transitoria para la inducción de floración que garantizan la contención biológica evitando la controversia de bioseguridad así como los largos y costosos procesos de acreditación aplicables a los cultivos transgénicos.

Palabras clave adicionales: Especies perennes frutales, rápido mejoramiento de aguacate, sobre-expresión del gen *FT*.

INDUCTION OF FLOWERING BY BIOTECHNOLOGY FOR THE ACCELERATED GENETIC IMPROVEMENT OF AVOCADO TREES

Abstract

With a production of 1'644,225 t of avocado in 2015, Mexico became the leading producer and exporter of avocado worldwide, its high international demand made it the star of the international agricultural portfolio of Mexico, by entering US \$ 1,920 million, equivalent to 17% of the total value of agricultural exports. However, its production faces different biotic and abiotic threats, exacerbated in their magnitude and frequency by the rapid global warming. Mexico urgently needs to accelerate the improvement of varieties with greater yield and tolerance to stress conditions, but the prolonged process of genetic breeding by traditional methods poses a serious risk for the conservation and exploitation of the genetic diversity of this important species. Nowadays one of the alternatives with the greatest potential to accelerate the genetic breeding of woody perennial tree fruit crops is the manipulation of endogenous genetic flowering pathways, as the *FT* gene, a fundamental integrator of flowering pathway highly conserved between the angiosperms. Genetic over-expression of *FT* has contributed to reducing the long times between sexual crosses, overcoming natural barriers for the development of new varieties in fruit crops, as well as to segregate genes of resistance to

diseases in varieties of commercial interest. Advances in biotechnological strategies allow the use of transient genetic modification techniques for induction of flowering that guarantee biological containment avoiding biosafety controversy as well as the long and expensive accreditation processes applicable to transgenic crops.

Additional keywords: Perennial tree fruit crops, fast avocado breeding, overexpression of *FT* gene.

Introducción

El rápido calentamiento global actual, provoca alteraciones en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos como sequías, lluvias torrenciales e inundaciones, condiciones que causan cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares en las plantas, los cuales dependiendo de la intensidad y duración y de la etapa de desarrollo de la planta, pueden tener un efecto significativo en su crecimiento, desarrollo y reproducción, limitando la expresión de su potencial de rendimiento genético y afectando la distribución geográfica de las especies por desacoplamiento con el clima para el cual están adaptadas (Srinivasa-Rao et al., 2016). Adicionalmente, el cambio climático puede exacerbar las amenazas bióticas, por los efectos sobre la biología, fisiología y dinámica de las poblaciones, así como las relaciones ecológicas entre los agentes patógenos con la demás biota en su ecosistema (Garrett et al., 2006). Condiciones que amenazan la producción agrícola a escala mundial y exigen respuestas rápidas e innovadoras para proteger la biodiversidad y garantizar la seguridad alimentaria.

Contribución económica del aguacate en México

En México, un país megadiverso que alberga el 9% de las plantas vasculares descritas en el mundo (alrededor de 25 mil especies en su mayoría angiospermas) (SEMARNAT, 2013), las especies perennes contribuyen significativamente al desarrollo rural y la alimentación. De acuerdo con la información estadística de la SAGARPA sobre producción de la agricultura mexicana, el país ha experimentado un crecimiento acelerado del área sembrada con aguacate en los últimos 20 años, impulsada principalmente por el incremento de la demanda internacional, llegando a duplicar la superficie sembrada al pasar de 92,584 ha en 1995 a 187,327 ha en 2015. Como producto del incremento de la siembra de aguacate la producción ha experimentado la misma tendencia al pasar de 790,097 t a 1,644,225 t, posicionando a México es como el primer productor de aguacate a nivel mundial. El valor de la producción ha experimentado un crecimiento increíble al aumentar en veinte veces de \$1,101 millones de pesos a \$22,549 millones en el mismo periodo de tiempo (Figura 1; SIAP, 2016).

El aguacate es hoy por hoy la especie perenne frutal que más contribuye positivamente en la balanza comercial de México, al ingresar divisas por valor de US\$1,920 millones, equivalentes

al 17% del valor total de las exportaciones agrícolas, convirtiéndose en la estrella del portafolio agrícola internacional de México. Es importante resaltar que el aguacate es uno de los productos que más ha contribuido a que por primera vez en más de veinte años de registros históricos de comercio exterior agroalimentario México tenga un saldo comercial positivo, con la cifra récord de \$26,714 millones de dólares en exportaciones agroalimentarias. Esta cifra de divisas captadas por concepto de comercio exterior agroalimentario es superior a las divisas captadas en el 2015 por remesas familiares (US\$24,785 millones), exportación petrolera (US\$23,173 millones) y turismo extranjero (US\$17,734 millones), estas cifras resaltan la importante contribución económica de las especies perennes frutales y al mismo tiempo justifican los esfuerzos en investigación y tecnología para mantener y aumentar su producción (SIAP-SAGARPA, 2016).

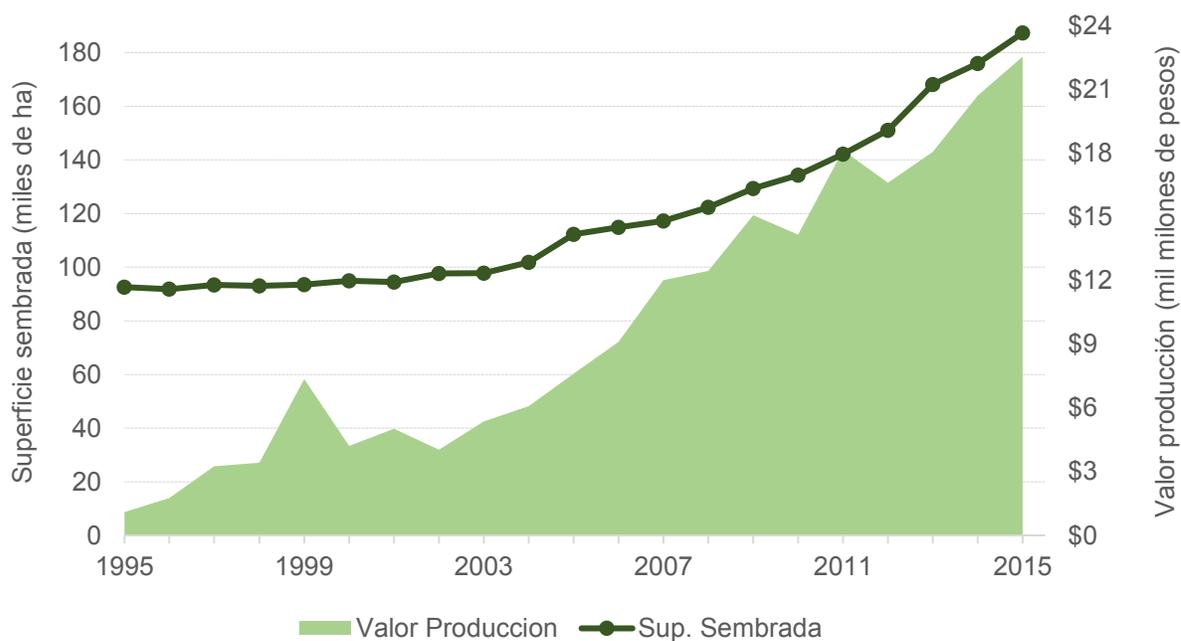


Figura 1. Evolución de la siembra de aguacates en México y el valor de su producción.

Reto en el mejoramiento de aguacate

A pesar de la importancia económica del aguacate, de acuerdo con la gaceta oficial de los derechos de obtentor de variedades vegetales publicados por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas en septiembre de 2016 (SNICS, 2016 <http://www.snics.gob.mx/documentos/snics/Datosabiertos/GACETA-SNICS.csv>), en los últimos 5 años apenas cuatro nuevas variedades de aguacate han recibido título de obtentor por cumplir los requisitos de novedad, distinción, estabilidad, homogeneidad y denominación.

Las cuatro nuevas variedades desarrolladas por países extranjeros (tres Estados Unidos de América y una Sudáfrica). Este bajo número de variedades de aguacate mejoradas responde en parte a su larga etapa juvenil antes de la floración, que convierte su mejoramiento genético en un proceso muy demorado además de costoso, reto que enfrentan un gran número de especies perennes con etapa juvenil extensa (≥ 15 en gimnospermas y ≥ 7 años en angiospermas) (Häggman et al., 2013).

Inducción biotecnológica de la floración en angiospermas

En las angiospermas, el más diverso grupo de plantas terrestres (Christenhusz et al., 2016), la diferenciación del meristemo apical a meristemo floral está regulada por medio de la integración de estímulos ambientales y endógenos, en una compleja y jerárquica red de señalización. Mediante análisis genéticos y moleculares se han identificado en la planta modelo *Arabidopsis* cinco principales rutas que controlan la transición de la etapa vegetativa a reproductiva, tanto las rutas desencadenadas por factores exógenos (las rutas de fotoperiodo y vernalización), como en respuesta al estado interno de la planta (las rutas autónomas, de giberelina y edad) convergen en el gen de Floración del Locus T (*FT*), de la familia de las proteínas ligadoras de fosfatiletanolamina. En la ruta de fotoperiodo, por ejemplo, la transcripción de *FT* es promovida por el factor de transcripción CONSTANS, el cual es regulado por el reloj biológico de la planta al ser expuesta a más de 12 horas de luz, durante los días largos (Calviño et al., 2005).

El gen *FT* es expresado en los tejidos vasculares de las hojas, desde donde puede ser transportado como ARNm o como proteína (~20 KDa), a través del floema hasta los meristemas apicales, destacándose como uno de los pocos ejemplos de macromoléculas en plantas que recorren grandes distancias para desempeñar una función en los tejidos receptores (McGarry et al., 2013). Una vez en el ápice del brote *FT* interactúa con factores de transcripción que desencadenan una cascada de señales transcripcionales positivas que conducen a la reprogramación del primordio para producir órganos reproductivos en lugar de vegetativos (Abe et al., 2005).

El gen *FT* es reconocido como un integrador fundamental en la ruta de floración en las angiospermas, diferentes ortólogos de *FT* inducen la floración en un amplio y gran número de especies desde gramíneas, leguminosas, ornamentales hasta perennes leñosas. Aunque los hábitos de crecimiento entre las plantas anuales y las plantas perennes son distintos al igual que hay una gran diversidad de flores entre las especies de un grupo y otro, la similitud en el

uso de *FT* como integrador en el proceso de floración evidencia un proceso muy conservado entre las angiospermas (Wickland et al., 2015).

En la actualidad la alternativa con mayor potencial para reducir la duración de los ciclos de mejoramiento vegetal es la manipulación de las rutas genéticas endógenas de floración por medio de la biotecnología. Dado que la floración es un proceso muy conservado entre las angiospermas, existe un gran potencial de lograr la inducción de floración en frutales usando las herramientas biotecnológicas actuales para modificar la expresión de genes relacionados con la floración.

Inducción de floración biotecnológica en el mejoramiento de frutales

Experimentos de expresión ectópica de genes ortólogos de *FT* en diversas especies han demostrado su carácter universal en la promoción de la floración (Wickland et al., 2015), lo anterior sumado al carácter móvil del estímulo son ventajas que han permitido su uso vía ingeniería genética para desregular la floración de los factores ambientales y acelerar la transición a la etapa reproductiva de forma eficiente (van Nocker et al., 2014), permitiendo incluso reducir a menos de 1 año la etapa juvenil de especies como en el naranjo espinoso (*P. trifoliata*) (Endo et al., 2005), pera (*P. communis*) (Matsuda et al., 2009), manzana (*M. domestica*) (Kotoda et al., 2010), ciruela (*P. domestica*) (Srinivasan et al., 2012). El potencial del mejoramiento acelerado vía inducción biotecnológica de la floración ha sido demostrado en el desarrollo de nuevas variedades de manzana con mayor resistencia a enfermedades como el tizón bacteriano del manzano, o contra hongos como el oídio del manzano, y la sarna del manzano, características introducida en germoplasma comercial (Wenzel et al., 2013). También ha sido demostrado en ciruela, otra especie perenne de tallo leñoso contra la enfermedad de la Sharka, causada por el Plum Pox Virus (<http://ucanr.edu/sites/fastrack/>) (Scorza et al., 2013).

Bioseguridad de la inducción de floración

Una de las principales ventajas en temas de bioseguridad, de la inducción de floración vía manipulación de genes *FT*, consiste en la aplicación de ingeniería genética como procedimiento, pero no en el producto, dada la capacidad de generar los estímulos necesario en hojas distantes que luego son movilizados por la planta hasta los meristemas. Por lo tanto, el resultado de las cruza sexuales de plantas con floración inducidas por este método no incorpora en su genoma modificaciones genéticas exógenas, soslayando de esta manera la controversia alrededor de los transgénicos, así como el extenso y costoso proceso regulatorio.

Conclusiones

Ante los desafíos del rápido cambio climático los sistemas producto que aprovechan especies frutales deben actuar rápidamente en el mejoramiento genético de nuevos cultivares que permitan sostener y aumentar la cantidad y calidad de la producción, para ello es indispensable la incorporación de tecnologías de frontera en los diferentes eslabones del sistema producto. Una forma para garantizar la producción primaria de frutales será la integración de alianzas tecnológicas con instituciones científicas y tecnológicas con la infraestructura y talento humano que permitan establecer una plataforma biotecnológica de inducción de floración, para acelerar de una forma eficiente y biosegura el mejoramiento de nuevos cultivares.

Literatura Citada

- Abe, M., Y. Kobayashi, S. Yamamoto, Y. Daimon, A. Yamaguchi, Y. Ikeda, and T. Araki. 2005. FD, a bZIP protein mediating signals from the floral pathway integrator FT at the shoot apex. *Science* 309(5737):1052–1056.
- Calviño, M., H. Kamada, and T. Mizoguchi. 2005. Is the role of the short-day solely to switch off the CONSTANS in Arabidopsis? *Plant Biotechnology* 22(3):179–183.
- Christenhusz, M. J. M., and J. W. Byng. 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa* 261(3):201–217.
- Endo, T., T. Shimada, H. Fujii, Y. Kobayashi, T. Araki, and M. Omura. 2005. Ectopic expression of an FT homolog from *Citrus* confers an early flowering phenotype on trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.). *Transgenic Research* 14(5):703–712.
- Garrett, K. A., S. P. Dendy, E. E. Frank, M. N. Rouse, and S. E. Travers. 2006. Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 44(1):489–509.
- Häggman, H., A. Raybould, A. Borem, T. Fox, L. Handley, M. Hertzberg, and M. Mclean. 2013. Genetically engineered trees for plantation forests: Key considerations for environmental risk assessment. *Plant Biotechnology Journal* 11(7):785–798.
- Kotoda, N., H. Hayashi, M. Suzuki, M. Igarashi, Y. Hatsuyama, S. I. Kidou, K. Abe. 2010. Molecular characterization of FLOWERING LOCUS T-like genes of apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Plant and Cell Physiology* 51(4):561–575.
- Matsuda, N., K. Ikeda, M. Kurosaka, T. Takashina, K. Isuzugawa, T. Endo, and M. Omura. 2009. Early flowering phenotype in transgenic pears (*Pyrus communis* L.) expressing the CiFT gene. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 78(4):410–416.
- McGarry, R. C., and F. Kragler. 2013. Phloem-mobile signals affecting flowers: Applications for crop breeding. *Trends in Plant Science* 18(4):198–206.
- Scorza, R., A. Callahan, C. Dardick, M. Ravelonandro, J. Polak, T. Malinowski, and I. Kamenova. 2013. Genetic engineering of plum pox virus resistance: 'HoneySweet' plum-from concept to product. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 115(1):1–12.
- SEMARNAT. 2013. Biodiversidad, México un país Megadiverso. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. D.F., México. 361 p.
- SIAP. 2016. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (Accessed 01.01.2017)
- SIAP-SAGARPA. (2016). Atlas Agroalimentario 2016. (Accessed 01.01.2017) http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016.
- SNICS. (2016). Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales. (SAGARPA, Ed.) (18th ed.). Ciudad de México. <http://snics.sagarpa.gob.mx/Documents/2016/GACETAjun2016.pdf>

- Srinivasa-Rao, N. K., R. H. Laxman, and K.S. Shivashankara. 2016. Physiological and morphological responses of horticultural crops to abiotic stresses. pp 3-18. In: Srinivasa-Rao, N. K., Shivashankara, K. S. and R. H. Laxman (Eds.). *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. Springer India.
- Srinivasan, C., C. Dardick, A. Callahan, and R. Scorza. 2012. Plum (*Prunus domestica*) trees transformed with poplar FT1 result in altered architecture, dormancy requirement, and continuous flowering. *PLOS ONE* 7(7):1–11.
- Van Nocker, S., and S. E. Gardiner. 2014. Breeding better cultivars, faster: applications of new technologies for the rapid deployment of superior horticultural tree crops. *Horticulture Research* 1:1–8.
- Wenzel, S., H. Flachowsky, and M.-V. Hanke. 2013. The fast-track breeding approach can be improved by heat-induced expression of the FLOWERING LOCUS T genes from poplar (*P. trichocarpa*) in apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 115(2):127–137.
- Wickland, D. P., and Y. Hanzawa. 2015. The FLOWERING LOCUS T/TERMINAL FLOWER 1 Gene Family: Functional Evolution and Molecular Mechanisms. *Molecular Plant* 8(7):983–997.