

Introducción a la Tecnología de Injertos a la Industria de Tomate en la Florida: Beneficios Potenciales y Retos¹

Monica Ozores-Hampton, Xin Zhao, y Miriam Ortez²

INTRODUCCION

El injerto de hortalizas sigue los mismos principios aplicados al injerto de árboles frutales. Un nuevo “híbrido de injerto”, con una combinación de características deseables, consiste en nuevos brotes que son removidos de una planta que se denomina 'variedad de injerto' y la raíz que es provista por una planta que se denomina 'patrón' o 'portainjertos' (Figura 1). La producción de injertos de hortalizas se inicio en los años 1920's cuando la sandía fue injertada sobre patrón de calabaza con la finalidad de controlar la marchitez por *Fusarium* en Japón y Corea. Los esfuerzos en investigación se han llevado a cabo desde entonces, pero la técnica del injerto no se hizo popular sino hasta que los trasplantes de injertos de berenjena se usaron en la producción comercial en los años 1960's (Lee, 1994; Oda, 1999). Hasta la fecha, esta tecnología innovadora ha sido practicada exitosamente en solanáceas y cucurbitáceas tales como berenjena, tomate, pimientos, sandía, pepino y melón, particularmente en Asia (Japón, Corea, China e Israel) y en países Mediterráneos (España, Italia, Turquía y Moroco) (Lee, 2003; Lee, 2007;

Leonardi y Romano, 2004; Oda, 2007). Además de la resistencia a enfermedades, el injerto de hortalizas ha contribuido al incremento en la tolerancia a varios ambientes estresantes, así como al aumento en la absorción de agua y nutrientes, lo que resulta en un crecimiento vigoroso, prolongación del periodo de crecimiento y un posible incremento de rendimiento. El interés en el injerto de hortalizas está expandiéndose, mientras tanto sus múltiples beneficios continúan siendo dilucidados.



Figura 1. La variedad injertada Tygress' resistente a Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV-R) con diferentes patrones. Fotografía de Monica Ozores-Hampton.

1. Este documento, HS1187, es uno de una serie de publicaciones del Departamento de Horticultural Sciences, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IUFAS). Fecha de primera publicación: Diciembre 2010. Visite nuestro sitio web EDIS en <http://edis.ifas.ufl.edu>.
2. Monica Ozores-Hampton y Miriam Ortez, Universidad de Florida, IFAS, Southwest Florida Research and Education Center, FL 32611, y Xin Zhao, University of Florida, IFAS, Horticultural Sciences Department, Gainesville, FL 32611.

¿Cómo puede la industria de tomate de la Florida beneficiarse del cultivo de tomate injertado?

Como alternativa al bromuro de metilo

En la producción comercial de tomate, la disponibilidad de fumigantes de amplio espectro junto con la disminución en la rotación de cultivos y disponibilidad de tierra, han creado una dependencia en la mezcla de Bromuro de Metilo/Cloropicrin para el control de patógenos del suelo, malezas y nematodos. Con la prohibición del bromuro de metilo y su salida gradual de los Estados Unidos descrito en el protocolo de Montreal, se han intensificado los esfuerzos en el estado de la Florida para encontrar alternativas al control químico. En el pasado se ha dado poca importancia al injerto; sin embargo, hoy en día existe un creciente interés en esta técnica como un medio efectivo para el control de enfermedades. El Laboratorio de Investigaciones Hortícolas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y varias universidades con concesiones de tierra, tales como la Universidad de la Florida, la Universidad Estatal de Carolina del Norte, la Universidad Estatal de Ohio y la Universidad de Arizona, recientemente han puesto en marcha programas de investigación sobre tomate injertado. En la Universidad de la Florida, se ha iniciado un proyecto para investigar la viabilidad de la producción de tomate injertado, utilizando patrones resistentes a enfermedades en ausencia de aplicación de fumigantes al suelo. Los patrones de tomate son desarrollados principalmente para ser resistentes a marchitez por *Fusarium* y *Verticillium*, marchitez bacteriana, mal del talluelo, nódulos de la raíz producidos por nematodos, y virus del mosaico del tabaco (Lee, 2003; Oda, 2007). Actualmente, pocas compañías de semillas pueden proveer semillas de patrones de tomate en los Estados Unidos (Tabla 1). En la actualidad se está evaluando la variedad 'Maxifort' (De Ruiters Seeds), la cual es uno de los patrones más populares en la producción de tomate en invernaderos en Norte América debido a que tiene una prominente resistencia a enfermedades, gran compatibilidad para injertar y gran vigor. Otros nuevos patrones resistentemente liberados por De Ruiters también son incluidos en nuestros continuos experimentos los cuales son,

según la compañía, especialmente aptos para el cultivo de tomate de injerto en campo abierto (comunicación personal con el especialista del producto Freek Knol).

Tabla 1. Lista de proveedores de semillas de patrones en los Estados Unidos

Compañía	Sitio Web
American Takii Seed	http://www.takii.com
Bruinsma Seeds	http://www.bruinsma.com/engels
De Ruiters Seeds	http://www.deruitersusa.com
D. Palmer Seed	http://www.dpalmersseed.com
Johnny's Selected Seeds	http://www.johnnyseeds.com
Rijk Zwaan USA	http://www.rijkszwaanusa.com

Como complemento al programa de mejoramiento de tomate

El injerto puede crear una nueva planta de tomate por el contacto de la unión física de una planta patrón y la variedad deseada a injertar. Esto apunta a que el injerto es una tecnología más rápida que el mejoramiento genético al combinar las ventajas de la resistencia a enfermedades del patrón con las características hortícolas de la variedad a ser injertada. Uno de los retos más grandes en el mejoramiento genético es la dificultad de la combinación de múltiples características deseables en una sola variedad. En el mejoramiento genético de tomate, el uso de híbridos es manejado principalmente por la conveniencia de la combinación de variedades con genes dominantes con resistencia a enfermedades. Además, el uso de tomates injertados tiene el potencial de acelerar el proceso de mejoramiento y tomar todas las ventajas del germoplasma del tomate. Se conoce que algunos patrones disponibles comercialmente son híbridos interespecíficos derivados de *Lycopersicon esculentum* y *L. hirsutum* (Oda, 2007). Variedades comerciales con características deseables en la parte aérea de la planta (tales como calidad de fruta y resistencia a enfermedades foliares e insectos) pueden ser injertadas sobre variedades de patrones que poseen características deseables en la raíz (tal como la resistencia a patógenos de suelo). Además, los nuevos materiales genéticos de resistencia a problemas de plagas emergentes pueden

ser utilizados más rápidamente como patrones, sin la necesidad de integrarlos a una existente élite de líneas genéticas de alta calidad. En resumen, el injerto permite mejoramiento genético simultáneo de las características de la parte aérea y parte radical y que potencialmente requerirá de cuatro líneas ancestrales.

Como componente innovador en las mejores prácticas de manejo

El Incremento de la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes ha sido observado en hortalizas de injerto, lo cual es atribuido con frecuencia a la vigorosidad del sistema radical provista por el patrón (Lee, 1994). En consecuencia, se han reportado reducciones en las dosis de fertilización para cucurbitáceas injertadas (Lee, 2003). En el desarrollo de hortalizas injertadas, existe una variabilidad entre las combinaciones de los tipos de injertos con las variedades usadas como patrones. En un estudio reciente, de sólo tres variedades patrones evaluadas, únicamente la variedad "Beaufort" (de semillas De Ruitter) mostró significativamente una mayor absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, relativa al área de producción, que fue acompañada de un incremento significativo del rendimiento, en comparación con las plantas injertadas sobre sus mismas variedades como patrones (Leonardi y Giuffrida, 2006). Dada la disponibilidad de patrones adecuados para variedades comerciales de tomate específicas, un programa de manejo de nutrientes exclusivo para la producción de tomate injertado puede ser establecido para alcanzar mejoras en la eficiencia del uso de fertilizantes en la Florida, en donde las pérdidas de nutrientes por lixiviación escorrentía han generado una seria preocupación ambiental. Para el cultivo de tomates injertados se puede usar la poda a dos tallos y menor densidad de plantas (Leonardi y Romano, 2004). En la actualidad se están realizando estudios para evaluar el efecto de los patrones sobre las características de absorción de agua y nutrientes en plantas de tomate injertadas.

Como potencial para incrementar la productividad del cultivo incluso con poca incidencia de enfermedades

A pesar de que el objetivo inicial de los injertos de hortalizas fue para mejorar la resistencia de cultivos a enfermedades del suelo, un incremento de la producción de hortalizas ha sido directamente vinculado a la mejora de la tolerancia a factores abióticos desfavorables (por ejemplo, baja y alta temperatura, salinidad e inundaciones), aumento en la absorción de agua y nutrientes, y retraso de la senescencia debido al vigor del injerto. Una modificación del estado de las hormonas endógenas de la planta dado por el patrón ha indicado que desempeña un papel importante en la promoción del crecimiento de hortalizas injertadas (Edelstein, M. 2004; Lee, 1994, 2003). Con la mejora del rendimiento, los atributos de calidad de la fruta de los tomates injertados, incluyendo firmeza, pH, sólidos solubles, acidez, licopeno y minerales, no fueron afectados por los patrones (Khah et al., 2006). En nuestro estudio de tomates injertados en invernadero, la variedad 'FL-47', injertada en la variedad patrón "Maxifort" mostró un aumento global del número y tamaño de fruta en comparación con la variedad "FL-47" sin injertar.

Rol único en la producción orgánica y sostenible de tomate

El control de plagas y manejo de nutrientes representan problemas críticos en la producción orgánica de hortalizas. Un equipo de la Universidad Estatal de Ohio ha emprendido un proyecto para investigar los beneficios de la tecnología del injerto para la producción de sistemas orgánicos sostenibles de tomate (The Vegetable Grower News, 2006). Para la producción de cultivos orgánicos, investigadores de la Universidad Estatal de Carolina del Norte han recomendado el uso del injerto de líneas puras susceptibles a enfermedades sobre patrones resistentes a las mismas (Rivard, 2006; Rivard y Louws, 2006). Es muy probable que la técnica del injerto sea adoptada por la creciente industria de tomate orgánico en la Florida, debido a que es una práctica ambientalmente amigable para el manejo de enfermedades e incremento de la productividad de los cultivos, que pueden ser

fácilmente incorporados en los sistemas orgánicos de producción.

LIMITACIONES Y RETOS

La tecnología de los injertos hortícolas no es una panacea. Existen limitaciones y retos asociados con el crecimiento de tomates injertados que deben considerarse para optimizar las prácticas de manejo y garantizar los beneficios para el medio ambiente y la viabilidad económica.

Costos

El costo de la utilización de plantas injertadas en producción comercial a menudo se percibe como un obstáculo para la amplia adopción de esta técnica. Una mirada a los procedimientos utilizados en la producción de tomate injertado revela un costo adicional de las semillas, espacio, suministros y mano de obra asociados con el injerto (Figura 2). Los actuales patrones de variedades de tomate han sido desarrollados fuera de los Estados Unidos, lo que resulta en un alto precio de las semillas y una disponibilidad limitada. Con el desarrollo de programas locales de mejoramiento genético en patrones de tomate, se espera una baja en los precios de las semillas de patrones. Los principales métodos de injertos utilizados en tomates son de corte en diagonal o bisel, injerto de púas en V y injerto de aproximación o de lengüeta (Oda, 1999; 2007). Una persona puede injertar 125 -150 trasplantes por hora, aunque actualmente están disponibles las máquinas de injertar y robots con una alta eficiencia (300 -1,200 injertos por hora) (Lee, 1994; 2003). La técnica y los sistemas de injertos han sido mejorados a lo largo de las últimas décadas y seguirá evolucionando hasta lograr una alta eficiencia y calidad. Paralelamente, la comparación de tomates injertados con los tomates no injertados en diferentes condiciones de producción ayudará a determinar la rentabilidad del uso de injertos. Un importante objetivo de nuestro proyecto actual de injertos de tomate es proporcionar un análisis económico real y actualizado de la producción de tomate injertado en la Florida el cual tome en consideración los costos de injerto, la reducción de los costos de fumigantes aplicados al suelo, el rendimiento potencialmente mayor de los tomates injertados, y la

contribución de los injertos a la protección de la calidad del medio ambiente.



Figura 2. Rebrote del patrón y excesivo vigor de la variedad 'Tygress' resistente a Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV-R) el resultado de la interacción de la expresión del patrón y del material genético injertado. Fotografía de Monica Ozores-Hampton.

Incompatibilidad

La incompatibilidad de injertos se refiere a la incapacidad de unir la variedad a injertar con el patrón y la falta de un crecimiento sano de la planta injertada. La incompatibilidad entre el patrón y la variedad injertada causa trastornos fisiológicos, considerable disminución del rendimiento, indeseable calidad de la fruta, e incluso el colapso de las plantas (Edelstein, 2004). Aunque la tasa de supervivencia de los injertos tras el proceso de curación se puede utilizar para evaluar la incompatibilidad, las evaluaciones de campo a menudo son necesarias para la selección de los patrones con buena compatibilidad. Las variedades más actuales de patrones son seleccionadas para evitar el problema de incompatibilidad, sin embargo, en la práctica las combinaciones variedad injertada-patrón aún tienen que ser probadas o experimentadas antes de ser incorporadas a la producción comercial.

Resistencia incompleta

Aunque los patrones pueden ser muy resistentes a una variedad de patógenos del suelo, la resistencia completa a todas las enfermedades de la raíz y las cepas es inalcanzable. El éxito de la producción de tomates injertados en una región determinada dependerá en gran parte de una cuidadosa selección de los patrones para hacer frente a los patógenos

prevalentes en el sitio. Además, las condiciones de microclima pueden afectar la expresión de la resistencia. Por ejemplo, los patrones de tomate resistentes a los nematodos de nódulos de la raíz podrían ser sensibles a la temperatura del suelo por encima de 28°C. Durante el establecimiento en el campo, la profundidad del trasplante debe ser tal que la unión del injerto de tomate se encuentre por encima de la superficie del suelo para reducir el riesgo de infección secundaria. Cuando el riesgo de infección es alto, variedades de tomate con resistencia a virus y agentes patógenos foliares se deben utilizar dado que no se sabe con certeza si los patrones actuales confieren resistencia a estas infecciones. Poco se sabe sobre la competencia de los injertos de tomate con las malezas más comúnmente encontradas en los sistemas de producción de tomate en la Florida.

Efectos de los patrones sobre la calidad de la fruta

Se han reportado algunos efectos adversos de determinados patrones sobre la calidad de la fruta en injertos de cucurbitáceas, como por ejemplo la forma y el sabor de frutas (Edelstein, M. 2004; Lee, 1994). A pesar de que la calidad de la fruta de los tomates injertados en general es similar a la de los tomates no injertados, el análisis de la calidad de la fruta es necesario sobre todo cuando se utiliza un nuevo patrón.

Retraso de la primera cosecha

Los injertos pueden retrasar la primera fecha de la floración y la primera cosecha debido al estrés físico efectuados por el proceso del injerto (Khah et al., 2006). Los productores de tomate deben estar plenamente conscientes de tales inconvenientes y programar cuidadosamente el injerto y la plantación para minimizar dicho efecto negativo. Sin embargo, los patrones que promueven producción temprana podrían ser utilizados para contrarrestar tal efecto.

La falta de estudios básicos moleculares en vigor de injertos

El vigor de crecimiento del "híbrido de injerto" es esencialmente el resultado de la interacción de la expresión del patrón y del material genético del

material injertado (Figura 3). La caracterización y secuenciación de los genes implicados en el vigor del injerto permitiría la selección de las combinaciones de los patrones-variedad injertada. Las investigaciones anteriores sobre el vigor del injerto utilizado en la producción comercial se han centrado en los mecanismos bioquímicos y fisiológicos. No fue hasta hace poco que la investigación realizada ha comenzado a dilucidar aspectos sobre el transporte de larga distancia de ARN a través de floema en plantas injertadas (Kudo y Harada, 2007). Dilucidar el papel del ARN transmisor del injerto en la modificación de los caracteres del injerto y lograr el vigor deseable del injerto representa enormes oportunidades para el uso innovador de los recursos genéticos en la producción de tomate.

COMENTARIOS FINALES

La industria de tomate de la Florida, con una superficie de 40,000 acres (16,200 ha), se enfrenta a la eliminación total del Bromuro de Metilo en un futuro próximo. Entre todas las alternativas posibles, la técnica de injertos merece toda la atención gracias a los múltiples beneficios que puede aportar a la industria del tomate en la Florida. Al igual que con los cultivos perennes, el éxito de un injerto de tomate no sólo implica la selección de una técnica mecánica que une dos plantas, sino también una selección juiciosa del patrón y la variedad injertada. La integración del injerto en los actuales sistemas de producción de tomate requiere de un análisis exhaustivo de los costos y beneficios. La adaptación de los patrones a los ambientes de producción específicos también requiere de una evaluación intensiva. Es posible que en un futuro próximo, el injerto se convierta en parte integral de la producción comercial sostenible de tomate en la Florida.

LITERATURA CITADA

Edelstein, M. 2004. Grafting vegetable-crop plants: Pros and cons. *Acta Hort.* 659:235-238.

Khah, E.M., E. Kakava, A. Mavromatis, D. Chachalis, and C. Goulas. 2006. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*

Mill.) in greenhouse and open-field. *J. Applied Hort.* 8:3-7.

Kudo, H. and T. Harada. 2007. A graft-transmissible RNA from tomato rootstock changes leaf morphology of potato scion. *HortScience*. 42: 225-226.

Lee, J.M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience* 29:235-239.

Lee, J.M. 2003. Advances in vegetable grafting. *Chronica Horticulturae*. 43:13-19.

Lee, S.G. 2007. Production of high quality vegetable seedling grafts. *Acta Hort.* 759:169-174.

Leonardi, C. and F. Giuffrida. 2006. Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplants on three different rootstocks. *Europ. J. Hort. Sci.* 71:97-101.

Leonardi, C. and D. Romano. 2004. Recent issues in vegetable grafting. *Acta Hort.* 631:163-174.

Oda, M. 1999. Grafting of vegetables to improve greenhouse production. *Food & Fertilizer Technology Center, Extension Bulletin*. 480:1-11.

Oda, M. 2007. Vegetable seedling grafting in Japan. *Acta Hort.* 759:175-180. Researchers look at grafting to solve problems in tomatoes. *The vegetable growers news*. November 2006:20, 22.

Rivard, C.L. 2006. Grafting tomato to manage soilborne diseases and improve yield in organic production systems. M.S. thesis. North Carolina State University.

Rivard, C.L., and F.J. Louws. 2006. Grafting for disease resistance in heirloom tomatoes. North Carolina Cooperative Extension Service AG-675.

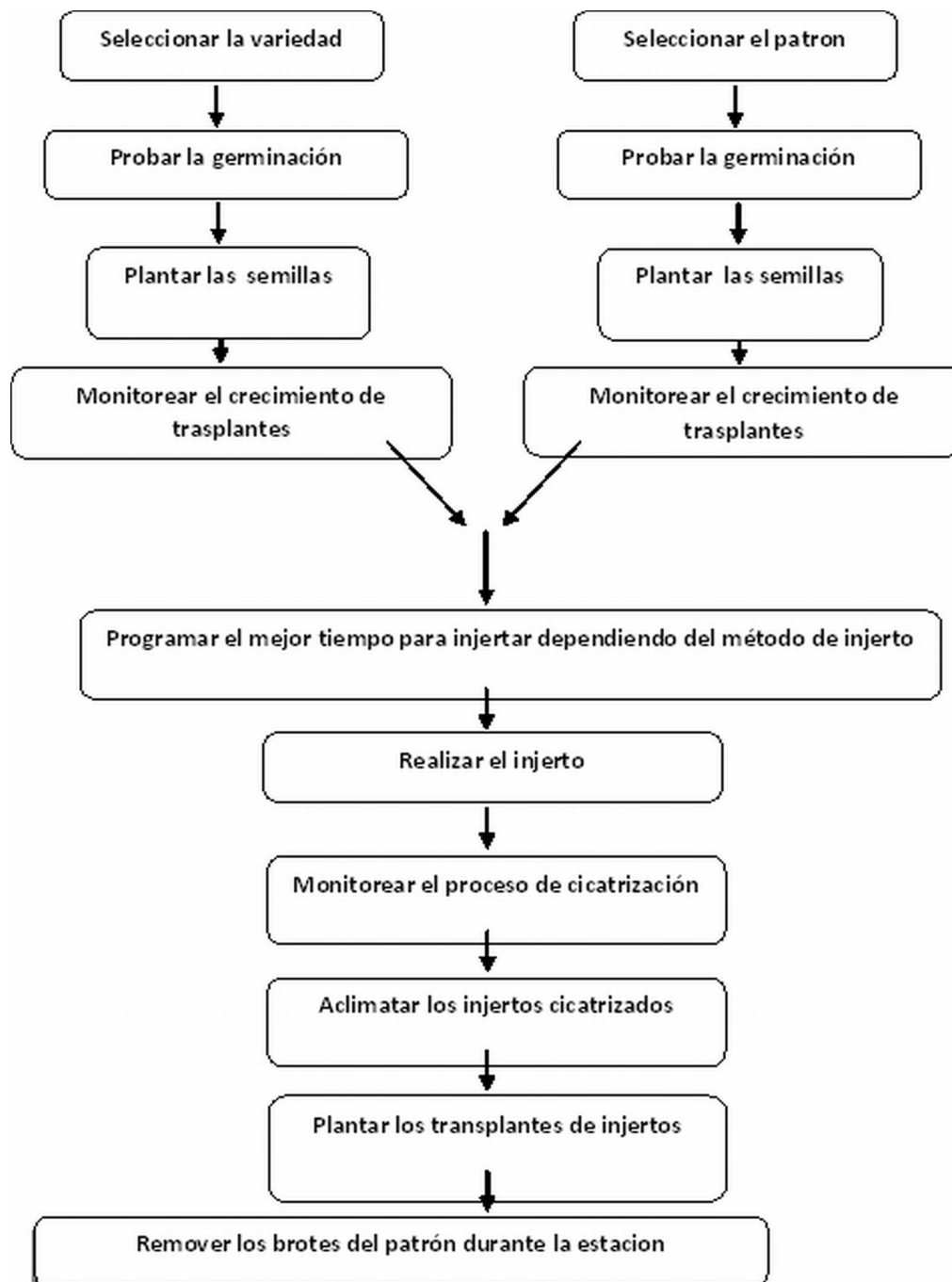


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso para la producción de tomates de injerto