

LA MANCHA PÚRPURA DE LA ZANAHORIA EN ZACATECAS; UNA NUEVA ENFERMEDAD

RODOLFO VELÁSQUEZ-VALLE, LUIS ROBERTO REVELES-TORRES



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PECUA Y ALIMENTACIÓN



inirap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas
Calera de V.R., Zacatecas. Noviembre 2017
Folleto Técnico No. 85
ISBN: 978-607-37-0805-0

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

M.A. JOSÉ EDUARDO CALZADA ROVIROSA
Secretario

LIC. JORGE ARMANDO NARVÁEZ NARVÁEZ
Subsecretario de Agricultura

M.C. MELY ROMERO CELIS
Subsecretario de Desarrollo Rural

M.C. RICARDO AGUILAR CASTILLO
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

DR. RAFAEL AMBRIZ CERVANTES
Encargado del Despacho de los Asuntos de la Dirección
General

DR. RAÚL G. OBANDO RODRÍGUEZ
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. JORGE FAJARDO GUEL
Coordinador de Planeación y Desarrollo

MTRO. EDUARDO FRANCISCO BERTERAME BARQUÍN
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

DR. ARTURO DANIEL TIJERINA CHÁVEZ
Director Regional

DR. FRANCISCO JAVIER PASTOR LÓPEZ
Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS
Director de Administración

MC. RICARDO ALONSO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ
Director de Coordinación y Vinculación en Zacatecas

LA MANCHA PÚRPURA DE LA ZANAHORIA EN ZACATECAS; UNA NUEVA ENFERMEDAD

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
México, D.F.
C.P. 04010 México, D.F.
Teléfono (55) 3871-8700

ISBN: 978-607-37-0805-0

Primera Edición: Noviembre 2017

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia o por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la institución.

Cita correcta:

Velásquez-Valle, R. y Reveles-Torres L.R. 2017. La mancha púrpura de la zanahoria en Zacatecas; una nueva enfermedad. Folleto Técnico Núm 85. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 32 páginas.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
AGENTE CAUSAL	2
INCIDENCIA DE SPIROPLASMAS EN CULTIVOS AGRICOLAS	8
SINTOMATOLOGÍA.....	10
PREVALENCIA ENTRE <i>Spiroplasma citri</i> Y MLOs	13
VECTOR	14
ENSAYOS DE TRANSMISIÓN.....	19
EPIDEMIOLOGÍA.....	20
MANEJO DE LA ENFERMEDAD.....	22
LITERATURA CITADA.....	24

LA MANCHA PÚRPURA DE LA ZANAHORIA EN ZACATECAS; UNA NUEVA ENFERMEDAD

Rodolfo Velásquez-Valle ¹
Luis Roberto Reveles-Torres ¹

INTRODUCCIÓN

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es una de los cultivos hortícolas emergentes de mayor importancia en el estado de Zacatecas, México. Las principales áreas productoras se localizan en el centro (Villa de Cos) y sur del estado (Loreto). El ciclo de cultivo de esta hortaliza inicia en febrero y la cosecha se generaliza hacia julio. Se utilizan variedades para consumo en fresco como las denominadas Conserto, Músico, Nantes y Esperanza que en general completan su ciclo en 120 a 170 días. Se han alcanzado rendimientos de hasta 90 a 100 toneladas por hectárea. Las plantas de zanahoria en Zacatecas se ven afectadas por la presencia de algunos patógenos como la cenicilla polvorienta (*Erysiphe* spp.) en el follaje y la pudrición blanca de la raíz causada por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* y la deformación de raíces provocada por

¹ Investigadores de los programas de Sanidad Forestal y Vegetal, y de Recursos Genéticos y del Campo Experimental Zacatecas.

nematodos pertenecientes al género *Meloidogyne* spp. Un nuevo grupo de síntomas ha sido observado con mayor frecuencia en parcelas comerciales de zanahoria en Villa de Cos y Loreto, por lo que el objetivo del presente trabajo consiste en dar a conocer la sintomatología, agente causal y posibles medidas de manejo de esta nueva patología que daña las plantas de zanahoria en Zacatecas.

AGENTE CAUSAL

La enfermedad de la hoja de púrpura de la zanahoria se informó por primera vez en 2006 en el estado de Washington y se asoció con *Spiroplasma citri*. La enfermedad también se reportó en California en 2008 (Lee *et al.*, 2006; Mello *et al.*, 2009).

En junio de 2015 se colectaron plantas de zanahoria con manchas purpuras, en una parcela comercial en la localidad de Chaparrosa perteneciente al municipio de Villa de Cos, Zacatecas. Los estudios de biología molecular realizados en 2015 revelaron la presencia de un organismo llamado *Spiroplasma citri* (Swisher *et al.*, 2016).

Síntomas en cítricos, como moteados, hojas pequeñas, frutas de forma anormal, retraso en el crecimiento de los árboles y producción reducida de frutas, fueron observadas por primera vez en California en 1915, atribuyéndolos erróneamente, a una infección de origen viral (Fawcett, 1946), aunque posiblemente fueran causados por la infección por *S. citri*.

Resultados de la observación por microscopía electrónica no tridimensional (Igwegbe y Calavan, 1970) revelaron la estructura del agente patógeno, que presenta la forma de un micoplasma (no helicoidal). Dos grupos de investigadores (Saglio *et al.*, 1971, Fudl-Allah y Calavan 1974) informaron el aislamiento in vitro del cultivo del presunto micoplasma.

En 1972 se publicó el descubrimiento de una nueva forma de patógeno, la de bacterias móviles sin pared celular con forma helicoidales, por lo que se estableció el nombre de Spiroplasma (Davis y Worley 1973), describiéndose una nueva especie, *Spiroplasma citri* (Saglio *et al.*, 1973, Fudl-Allah y Calavan 1974).

Los Spiroplasmas son bacterias helicoidales de 3 a 15 μm de longitud y de 200 a 250 nm de ancho (Figura 1); filogenéticamente relacionadas a las bacterias Gram positivas, que viven en el floema de las plantas y son los únicos patógenos de la Clase Mollicutes, capaces de moverse por sí mismas; a diferencia de otros Mollicutes, *S. citri* ha sido cultivado in vitro. El tamaño del genoma varía entre 780 y 2220 kbp y posee un alto contenido de adenina – timina (hasta 75%) (Bové *et al.*, 2003; Renaudin, 2006; Nejat *et al.*, 2011b).

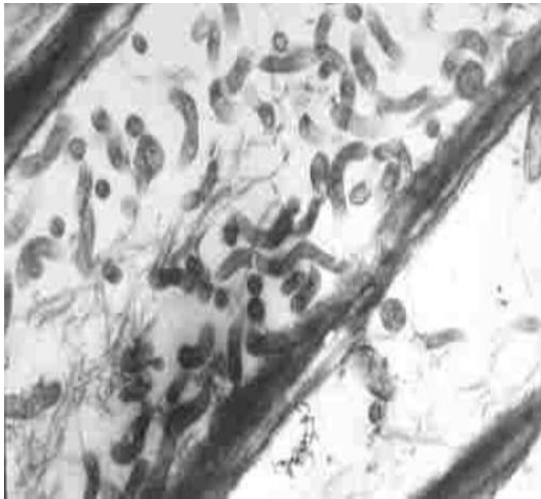


Figura 1. Células de *Spiroplasma citri* creciendo en el floema de una planta de teresita (*Cataranthus roseus*). Fotografía tomada de “Spiroplasmas: evolution, adaptation and diversity” (Gasparich, 2002).

Los Spiroplasmas tienen un complejo ciclo de vida que implica la multiplicación en un insecto vector y en la planta huésped, lo cual indica que estos patógenos tienen la capacidad de adaptarse a dos anfitriones muy diferentes.

Este fitopatógeno en tejido vegetal está restringido al floema conservando una de las características de los Mollicutes fitopatogénicos. Los spiroplasmas son los únicos Mollicutes que muestran movilidad por contracción fibrilar de componentes del citoesqueleto unidos a la delgada membrana plasmática (Bové *et al.*, 2003).

Crece como filamentos helicoidales móviles en líquido, pero como filamentos inmóviles y no helicoidales, o como cuerpos redondos en cultivos de agar; es decir, que la helicoididad y la motilidad se pierden en los cultivos sólidos, y por la adición de una variedad de fijadores y otras soluciones, y no hay orgánulos responsables de la motilidad (Charron *et al.*, 1982).

La espiralina es la proteína más abundante en los Spiroplasmas, y ésta juega un papel muy importante en la interacción de este patógeno con los tejidos del vector y los de las plantas hospedadas. Se ha demostrado que esta proteína no es requerida para despertar los mecanismos de patogenicidad, pero es necesaria para la transmisión eficiente de *S. citri* por su insecto vector (Duret *et al.*, 2003; Boutareaud *et al.*, 2004), ya que una vez dentro de este, con esta proteína el patógeno se puede adherir a las células epiteliales de las glándulas salivales, y así garantizar transmisión de *S. citri* hacia los tubos cribosos del floema vegetal (Killiny *et al.*, 2005).

Spiroplasma citri infecta de forma natural a las plantas pertenecientes a varias familias de dicotiledóneas en el suroeste de los Estados Unidos, donde se encuentra comúnmente en maleza y plantas de cultivos de Brasicas de Europa, así como en cítricos. Se transmite de una planta a otra de forma propagativa persistente (es decir se propaga dentro del insecto por un periodo largo de tiempo) por insectos del orden Hemíptera que se alimentan del

floema de las plantas, siendo *Circulifer tenellus* (Baker) el más importante (Oldfield *et al.*, 1984).

Raramente se encuentra en *Scaphytopius nitridus* (DeLong), una de las dos especies de *Scaphytopius* capaces de infectarse a partir de plantas en el laboratorio. Se han aislado Spiroplasmas presuntamente de *S. citri* a partir de *Ollarianus strictus* (Ball), una chicharrita que, como varias otras de California EU, pueden adquirir *S. citri* de plantas bajo condiciones de laboratorio, pero aparentemente no pueden transmitirla (Bové *et al.*, 1987). Por otra parte, al menos en California, varias plantas presentan infecciones mixtas con *S. citri* y el fitoplasma del amarillo del aster, el cual es un agente transmitido por *C. tenellus* que causa la virescencia floral. En el suroeste de Estados Unidos, *S. citri* se ha encontrado durante todo el año en plantas perennes y anuales así como en *C. tenellus*. Su aislamiento de *C. tenellus* y de plantas de nabo cultivadas en Washington, de *C. tenellus* en Utah, y de cítricos y otras plantas en Arizona, indica una amplia distribución geográfica en el oeste de los Estados Unidos (Oldfield *et al.*, 1984).

INCIDENCIA DE SPIROPLASMAS EN CULTIVOS AGRICOLAS

El Spiroplasma más estudiado y el que ha sido el primero en cultivarse *in vitro* es *Spiroplasma citri*, el agente causal de la enfermedad obstinada de los cítricos. Junto con los virus y fitoplasmas, son de los principales patógenos de los tubos cribosos del floema de las plantas. En la provincia iraní de Fars, los cultivos de *S. citri* se obtuvieron de árboles de cítricos afectados, de cultivos de ajonjolí y de cártamo con la sintomatología típica, y de la chicharrita vector *Circulifer haematoceps* Mulsant & Rey. (Khanchezar *et al.*, 2014). Sin embargo, los Spiroplasmas también han sido detectados en otros órdenes de insectos que van desde avispas (orden Himenoptera), mayates de junio (orden Coleoptera) hasta moscas de la fruta y mosquitos (orden Diptera) (Gasparich, 2010).

La presencia del Spiroplasma ha sido reportada en Estados Unidos de América (estados de Washington en el

2006 y California en el 2008) y España (Lee *et al.*, 2006; Mello *et al.*, 2009; Alfaro-Fernández *et al.*, 2015).

Por otro lado, Zarei *et al.* (2017) confirmaron que plantas de sesamo (*Sesamum indicum* L.) pueden servir de reservorios de *S. citri*. Mientras que Mello *et al.* (2009) confirmaron que la zanahoria es un hospedero de *S. citri*. Se ha sugerido (Mello *et al.*, 2008) que las cepas de este patógeno detectadas en zanahoria y rábano (*Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus*) son diferentes a las encontradas en cítricos. Aunque la zanahoria no es un hospedero preferido de *C. tenellus*, es probable que las chicharritas inoculantes se alimenten de las plantas de zanahoria durante la migración estacional.

Sin embargo, es necesario mencionar que las infecciones en plantas de zanahoria por *S. citri* pueden ocurrir al mismo tiempo que las de otros patógenos; en el estado de Washington, se han detectado co-infecciones de *S. citri* y los fitoplasmas que provocan el amarillamiento del aster y de la proliferación del trébol (Lee *et al.*, 2006).

SINTOMATOLOGÍA

Los síntomas observados en plantas de zanahoria en Zacatecas incluyen amarillamiento intenso de una o varias hojas que eventualmente toman una coloración rojiza o púrpura (Figuras 2 y 3); estos síntomas pueden ocurrir en plantas aisladas o en pequeños grupos al azar dentro de las parcelas comerciales.



Figura 2. Planta de zanahoria mostrando hojas amarillas, síntoma foliar inicial de la enfermedad conocida como hoja púrpura de la zanahoria.



Figura 3. Planta de zanahoria mostrando hojas rojas o púrpuras, síntoma foliar avanzado de la enfermedad conocida como hoja púrpura de la zanahoria.

Al extraer del suelo las plantas con follaje rojo o morado se puede observar la proliferación excesiva de raíces secundarias sobre el bulbo dándole una apariencia “barbuda” (Figura 4). Otro síntoma de esta infección observado en Zacatecas en la parte subterránea de las plantas de zanahoria es la formación de múltiples raíces fibrosas (Figura 5). La sintomatología observada en Zacatecas corresponde en su mayor parte con la mencionada por Cebrian *et al.* (2010) en plantas de zanahoria en España infectadas con *S. citri*.



Figura 4. Bulbos de plantas de zanahoria mostrando una excesiva producción de raíces secundarias en plantas con síntomas foliares de hoja púrpura.



Figura 5. Formación de raíces múltiples asociada con la infección por *S. citri*.

PREVALENCIA ENTRE *Spiroplasma citri* Y MLOs

Spiroplasma citri se puede cultivar a partir de plantas de bígaro de Madagascar también conocida como violeta blanca o vinca de Madagascar (*Catharanthus roseus* L.) infectadas de forma natural en campo. Sin embargo, siempre que se infectan de esta forma, las plantas del bígaro muestran síntomas típicos de un organismo similar a micoplasma (MLO) tales como virescencia de flores. Estas plantas están indudablemente coinfectadas tanto con *S. citri* como con un MLO, como el caso de un fitoplasma, siendo este último responsable de los síntomas.

Para verificar esta hipótesis Saillard *et al.* (1984) llevaron a cabo los siguientes experimentos. Los bígaros se infectaron tanto con *S. citri*, como con uno de tres diferentes MLO por medio de injertos. Los tres MLO fueron los que provocan filodia, enanismo de la flor y virescencia. Los bígaros infectados individualmente con *S. citri* mostraron marchitamiento letal seis semanas después de la inoculación. Las plantas inoculadas primero con *S. citri* y

cuatro semanas más tarde con un MLO, desarrollaron marchitez doce semanas después de la inoculación con *S. citri*. Las plantas inoculadas primero con MLO y después con *S. citri* no desarrollaron el marchitamiento. La presencia de *S. citri* en estas plantas se demostró mediante prueba de ELISA y por cultivo del espiroplasma. Se obtuvieron resultados similares cuando se inoculó al mismo tiempo *S. citri* y el MLO.

Los resultados indican que en infecciones mixtas de *S. citri* y otro MLO, los síntomas que prevalecen son los causados por el MLO y no por *S. citri*; fenómeno que resulta importante al momento de encontrarse con un cultivo dado, con una sintomatología implícita de espiroplasmas, ya que evidencia la presencia única de estos últimos, y por ende, establecer los mecanismos de manejo de la enfermedad.

VECTOR

Las primeras investigaciones sobre los vectores responsables de transmitir *S. citri*, recayeron sobre chicharritas, así que entre muchas colectadas e identificadas en Marruecos, Turquía, Siria y Francia, solo

la especie *C. haematoceps* fue encontrada infectada con *Spiroplasma citri* (Fos *et al.*, 1986).

Después de estos descubrimientos, se inició la crianza de esta chicharrita y se demostró que era capaz de adquirir *S. citri* a partir de bígaros infectados, de multiplicar los patógenos en su cuerpo y de transmitirlos a plantas sanas. Esta chicharrita también puede infectarse después de la inyección de *S. citri* en el hemocele del insecto. Las chicharritas así inoculadas pueden transmitir el espiroplasma de forma muy eficaz a plantas sanas. Este trabajo efectuado por Fos *et al.* (1986) y es el primer informe de la transmisión de *S. citri* por *C. haematoceps* tanto después de la adquisición en una planta enferma y después de la inoculación por inyección directa.

Trabajos de esta índole dieron lugar a la postre a la aplicación de diversas prácticas experimentales para utilizar a *C. haematoceps* como un modelo biológico para tales fines.

La chicharrita del betabel *Circulifer tenellus* Baker (Figura 6) como vector responsable de la diseminación de este patógeno, posee un aparato bucal tipo chupador que, al alimentarse directamente de los vasos del floema, adquiere al espiroplasma. La ruta circulatoria de *S. citri* a través de su vector está bien establecida (Figura 7): los espiroplasmas atraviesan la pared intestinal del insecto, se mueven hacia la hemolinfa donde se multiplican, circulan e invaden la mayor parte de los órganos del insecto incluyendo las glándulas salivales y se liberan principalmente en los conductos de estas glándulas que conduce al canal salivar del estilete (Breton *et al.*, 2010, Dubrana, 2016).



Figura 6. Adulto de *C. tenellus*, vector de *S. citri* en el cultivo de zanahoria en Zacatecas, México.

Luego se introducen en el floema vegetal junto con las secreciones salivales durante la alimentación (Kwon *et al.*, 1999). En la planta huésped, *S. citri* se multiplica en los elementos del tamiz del floema y desencadena síntomas severos.

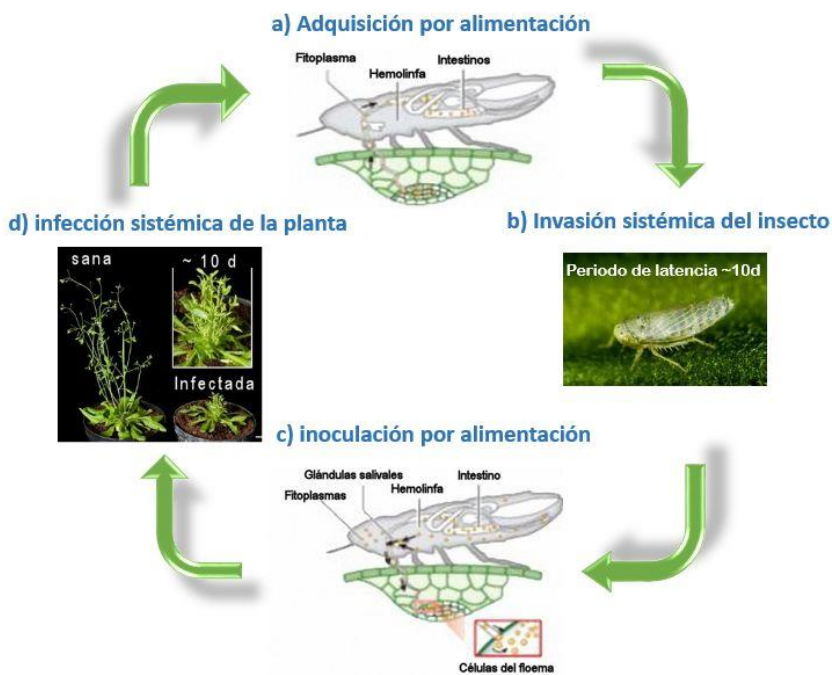


Figura 7. Mecanismo de transmisión de fitoplasmas por *Citrullifera tenellus* Baker. a) Adquisición por alimentación, b) Invasión sistémica del insecto, c) inoculación por alimentación, d) infección sistémica de la planta.

Como se ha mencionado anteriormente, en el bígaro de Madagascar, *S. citri* induce caída de hojas, marchitamiento y retraso del crecimiento (Calavan y Bové, 1989). Los mecanismos moleculares subyacentes a la interacción entre *S. citri* y su planta huésped siguen siendo en gran parte desconocidos. No obstante, se ha demostrado una

perfecta correlación entre la capacidad de *S. citri* para utilizar la fructosa y su capacidad para inducir síntomas en la planta huésped (Gaurivaud *et al.*, 2000).

ENSAYOS DE TRANSMISIÓN

En trabajos realizados por Mello *et al.* (2009), fueron capturados adultos de *C. tenellus* los cuales recibieron un período de acceso de adquisición de 24 horas con una dieta que contenía *S. citri* derivado de la parte vegetativa de un cultivo de zanahoria infectado. Después de 30 días, los insectos se transfirieron a plántulas de zanahoria sanas (cinco por planta). Los controles negativos fueron plantas de zanahoria y del bígaro de Madagascar expuestas a insectos alimentados solo con dieta y los controles positivos fueron plantas de bígaro expuestas a insectos alimentados con dieta suplementada con espiroplasma. Las hojas púrpuras de zanahoria y pequeñas hojas de bígaro cloróticas fueron evidentes entre los diez y 45 días después de la exposición. Los espiroplasma se re aislaron sólo a partir de plantas sintomáticas, y la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) confirmó su identidad como

S. citri. No se presentaron síntomas y no se obtuvieron amplificaciones de PCR específicas de espiroplasma en cultivos de espiroplasma a partir de plantas expuestas a insectos alimentados solo con dieta. El aislamiento de *S. citri* derivado de zanahoria se transmitió a las plantas expuestas de zanahoria y de bígaro de Madagascar (*Catharanthus roseus*) con porcentajes de infección del 15 y 50% respectivamente. Los insectos expuestos a los aislamientos de *S. citri* procedentes de zanahoria o cítricos transmitieron el patógeno tanto a su huésped de origen como al otro huésped de la planta (zanahoria o cítricos), no mostrando especificidad. Aunque la zanahoria no es un hospedero preferido de *C. tenellus*, es probable que estas chicharritas vectores se alimenten de la zanahoria durante la migración estacional.

EPIDEMIOLOGÍA

Más del 36% de los especímenes de *C. tenellus* capturados en Zacatecas resultó estar infectado con *S. citri* (Swisher *et al.*, 2016). Es importante recordar que esta chicharrita es capaz de pasar el invierno en áreas de

Zacatecas y Aguascalientes (Velásquez-Valle *et al.*, 2017) por lo que es posible su presencia desde el inicio del ciclo de cultivo de la zanahoria en Zacatecas.

Spiroplasma citri ha sido encontrada en áreas semiáridas y desiertos; bajo la temperatura de esos lugares las plantas herbáceas infectadas con la bacteria mueren en pocos meses (Calavan y Bové, 1989).

El rango de especies infectadas por *S. citri* involucra un número importante de especies del género *Citrus* como naranjo, mandarina y limón persa, entre otros a nivel mundial (Nejat *et al.* 2011b); el primer informe de éste patógeno infectando plantas de zanahoria ocurrió en España en 2010 (Cebrian *et al.*, 2010); en Israel se confirmó su presencia en plantas de zanahoria aunque alrededor del 20% de las plantas infectadas con *S. citri* estaban co-infectadas por un fitoplasma (Gera *et al.*, 2011); posteriormente, en 2015 la infección por *S. citri* de plantas de apio (*Apium graveolens* L.) que expresaban síntomas como enanismo y hojas de color amarillo y rojo fue reportada en España (Alfaro-Fernández *et al.*, 2015).

También en el sudeste asiático se ha logrado aislarlo del bígaro de Madagascar que mostraba síntomas como un rápido declinamiento en el número y tamaño de las flores; abscisión prematura de yemas y flores, clorosis de puntas y márgenes de hojas, clorosis general, enanismo y muerte (Nejat *et al.*, 2011a).

MANEJO DE LA ENFERMEDAD

La producción de zanahoria en el estado norteamericano de Wisconsin es afectada por un fitoplasma transmitido por una chicharrita (*Macrostelus quadrilineatus* Forbes); la columna vertebral del manejo de la enfermedad es el control mediante insecticidas de la chicharrita empleando insecticidas piretroides desde junio hasta agosto (Rogers *et al.*, 2011); sin embargo un programa de aspersiones como ese debe ser validado “ANTES” de utilizarse en Zacatecas; actualmente la programación de aspersiones de insecticidas contra esa chicharrita se fundamenta en el conocimiento de la resistencia del cultivar de zanahoria

empleado junto con el porcentaje de chicharritas infectivas capturadas (Rogers *et al.*, 2011).

Existen cultivares de zanahoria que han mostrado diferentes niveles de resistencia a la infección por fitoplasmas en Wisconsin, EUA (Rogers *et al.*, 2011) por lo que es probable que en un plazo razonable puedan identificarse cultivares de zanahoria tolerantes a *S. citri*.

Otras prácticas destinadas a reducir las poblaciones de *C. tenellus* en Chile (Velásquez *et al.*, 2011) pueden ser efectivas también en el cultivo de zanahoria:

- Evite la maleza dentro y alrededor de la parcela de zanahoria.
- Utilice una banda plástica de color amarillo cubierta de pegamento para insectos a fin de atraer y retener los adultos de *C. tenellus* y así impedir que alcancen las plantas de zanahoria.
- Es importante eliminar las plantas enfermas (plantas con el follaje amarillo o rojo) conforme vayan

apareciendo en la parcela; estas plantas deben ser quemadas o enterradas fuera de la parcela.

LITERATURA CITADA

- Alfaro-Fernández, A., Hernández-Llopis, D., Ibañez, I., Rodríguez-León, F., Ferrándiz, J.C., Sanjuan, S. and Font, M. I. 2015. First report of *Spiroplasma citri* in celery in Spain. *Plant Disease* 99:1175.
- Boutareaud, A., Danet, J.L., Garnier, M., Saillard, C. 2004. Disruption of a gene predicted to encode a solute binding protein of an ABC transporter reduces transmission of *Spiroplasma citri* by the leafhopper *Circulifer haematoceps*. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 3960-3967.
- Bové, J.M., Fos, A., and Lallemand, J. 1987. Epidemiology of *Spiroplasma citri* in the Old World. *Israel Journal of Medical Sciences* 23: 663-666.

Bové, J.M., Renaudin, J., Saillard, C., Foissac, X., Garnier, M., 2003. *Spiroplasma citri*, a plant pathogenic mollicute: relationships with its two hosts, the plant and the leafhopper vector. Annual review of phytopathology 41, 483-500.

Breton, M., Duret, S., Danet, J-L., Dubrana, M-P., and Renaudin, J. 2010. Sequences essential for transmission of *Spiroplasma citri* by its leafhopper vector, *Circulifer haematoceps*, revealed by plasmid curing and replacement based on incompatibility. Applied and Environmental Microbiology 76:3198-3205.

Calavan, E.C. and Bové, J.M. 1989. Ecology of *Spiroplasma citri*. In: Whitcomb, R.F., Tully, J.G. (Eds.). The Mycoplasmas, Vol V. Pp. 425 – 487. Academic Press Inc. New York, USA.

Cebrian, M.C., Villaescusa, F.J., Alfaro-Fernández, A., Hermoso de Mendoza, A., Córdoba-Sellés, M.C., Jordá, C., Ferrándiz, J. C., SanJuan, S., and Font, M.I.

2010. First report of *Spiroplasma citri* in carrot in Europe. Plant Disease 94:1264.

Charron, A., Castroviejo, M., Bebear, C., Latrille, J., and Bové, J.M. 1982. A third DNA polymerase from *Spiroplasma citri* and two other spiroplasmas. Journal of Bacteriology 149: 1138-1141.

Davis, R.E. and Worley, J.F. 1973. Spiroplasma: motile, helical microorganism associated with corn stunt disease. Phytopathology 63:403– 408.

Dubrana, M.-P., Béven, L., Arricau-Bouvery, N., Duret, S., Claverol, S., Renaudin, J., Saillard, C., 2016. Differential expression of *Spiroplasma citri* surface protein genes in the plant and insect hosts. BMC microbiology 16, 53.

Duret, S., Berho, N., Danet, J.L., Garnier, M., and Renaudin, J. 2003. Spiralin is not essential for helicity, motility, or pathogenicity but is required for efficient transmission of *Spiroplasma citri* by its leafhopper vector *Circulifer haematoceps*. Applied and Environmental Microbiology 69: 6225-6234.

- Fawcett, H.S. 1946. Stubborn disease of citrus, a virosis. *Phytopathology* 36:675– 677.
- Fos, A., Bové, J., Lallemand, J., Saillard, C., Vignault, J., Ali, Y., Brun, P., Vogel, R., 1986. The leafhopper *Neoliturus haematoceps* (Mulsant & Rey) is a vector of *Spiroplasma citri* in the Mediterranean, *Annales de l'Institut Pasteur. Microbiologie*, pp. 97-107.
- Fudl-Allah. AE-SA. and Calavan, E.C. 1974. Cellular morphology and reproduction of the mycoplasmalike organism associated with citrus stubborn disease. *Phytopathology* 64:1309 –1313.
- Gasparich, G.E. 2002. Spiroplasmas: evolution, adaptation and diversity. *Front. Biosci* 7:19-40.
- Gasparich, G.E. 2010. Spiroplasmas and phytoplasmas: microbes associated with plant hosts. *Biologicals* 38:193-203.
- Gaurivaud, P., Danet, J.-L., Laigret, F., Garnier, M., and Bové, J.M. 2000. Fructose utilization and

phytopathogenicity of *Spiroplasma citri*. Molecular Plant-Microbe Interactions 13:1145-1155.

Gera, A, Maslenin, L., Weintraub, P.G., and Mawassi, M. 2011. Phytoplasma and spiroplasma diseases in open-field crops in Israel. Bulletin of Insectology 64 (Supplement). S53-S54.

Igwegbe, E.C.K. and Calavan, E.C. 1970. Occurrence of mycoplasma-like bodies in phloem of stubborn-infected citrus seedlings. Phytopathology 60:1525–1526.

Khanchezar, A., Beven, L., Izadpanah, K., Salehi, M., Saillard, C. 2014. Spiralin diversity within Iranian strains of *Spiroplasma citri*. Current Microbiology 68: 96-104.

Killiny, N., Castroviejo, M., and Saillard, C. 2005. *Spiroplasma citri* Spiralin Acts *In Vitro* as a Lectin Binding to Glycoproteins from Its Insect Vector *Circulifer haematoceps*. Phytopathology 95: 541-548.

- Kwon, M.-O., Wayadande, A.C., and Fletcher, J. 1999. *Spiroplasma citri* movement into the intestines and salivary glands of its leafhopper vector, *Circulifer tenellus*. *Phytopathology* 89:1144-1151.
- Lee, I. –M., Bottner, K. D., Munyaneza, J.E., Davis, R.E., Crosslin, J. M., du Toit, L. J., and Crosby, T. 2006. Carrot purple leaf: a new spiroplasmal disease associated with carrots in Washington state. *Plant Disease* 90:989-993.
- Mello, A.F.S., Yokomi, R.K., Melcher, U., Chen, J.C., Wayadande, A.C., and Fletcher, J. 2008. Genetic diversity of *Spiroplasma citri* strains from different regions, hosts, and isolation dates. *Phytopathology* 98:960-968.
- Mello, A.F., Wayadande, A.C., Yokomi, R.K., and Fletcher, J. 2009. Transmission of different isolates of *Spiroplasma citri* to carrot and citrus by *Circulifer tenellus* (Hemiptera:Cicadellidae). *Journal of Economic Entomology* 102:1417-1422.

- Nejat, N., Vadamalai, G., Sijam, K., and Dickinson, M. 2011a. First report of *Spiroplasma citri* (-induced) associated with periwinkle lethal yellows in southeast Asia. *Plant Disease* 95:1312.
- Nejat, N., Vadamalai, G., and Dickinson, M. 2011b. *Spiroplasma citri*: A wide host range phytopathogen. *Plant Pathology Journal* 10:46-56.
- Oldfield, G.N. 1984. Field ecology of *Spiroplasma citri* in western North America. *Israel Journal of Medical Sciences* 20: 998-1001.
- Renaudin, J. 2006. Sugar metabolism and pathogenicity of *Spiroplasma citri*. *Journal of Plant Pathology* 88:129-139.
- Rogers, P.M., Stevenson, W.R., Wyman, J.A., Frost, K., and Groves, R. 2011. IPM Perspectives for carrot foliar diseases in Wisconsin. University of Wisconsin. UW Extension. A3945. 8 p.
- Saglio, P., Lafèche, D., Bonissol, C., Bové, J.M. 1971. Isolement et culture in vitro des mycoplasmes

associés au “stubborn” des agrumes et leur observation au microscope électronique. C R Acad Sci Paris D 272:1387–1390.

Saglio, P., Lhospital, M., Laflèche, D., Dupont, G., Bové J.M., Tully, J.G., and Freundt, E.A. 1973. *Spiroplasma citri* gen. and sp. n.: a mycoplasma-like organism associated with “stubborn” disease of citrus. Int. J Syst. Bacteriol. 23:191–204.

Saillard, C., Vignault, J.C., Fos, A., and Bové, J.M. 1984. *Spiroplasma citri*-induced lethal wilting of periwinkles is prevented by prior or simultaneous infection of the periwinkle by an MLO. Annales de Microbiologie 135A: 163-168.

Swisher, K.D., Velásquez-Valle, R., Mena-Covarrubias, J., and Munyaneza, J.E. 2016. Occurrence and molecular detection of *Spiroplasma citri* in carrots and its insect vector, *Circulifer tenellus*, in Mexico. Journal of Plant Pathology 98:355-360.

Velásquez, V.R., Mena, C.J. y Reveles, T.L.R. 2011. Amarillamientos del chile para secado en el norte –

centro de México. Folleto Técnico No. 35. Campo Experimental Zacatecas – INIFAP. Calera de V. R., Zacatecas, México. ISBN:978-607-425-718-2. 40 p.

Velásquez-Valle, R., Reveles-Torres, L.R. y Mena-Covarrubias, J. 2017. Géneros de chicharritas presentes durante el invierno en regiones de Aguascalientes, Coahuila, y Zacatecas, México. *Southwestern Entomologist* 42:249-259.

Zarei, Z., Salehi, M., Azami, Z., Salari, K., and Beven, L., 2017. Stubborn disease in Iran: Diversity of *Spiroplasma citri* strains in *Circulifer haematoceps* leafhoppers collected in sesame fields in Fars Province. *Current Microbiology* 74:239-246.

REVISIÓN TÉCNICA Y EDICIÓN

Dr. Ernesto González Gaona
INIFAP AGUASCALIENTES

MC. Candelario Serrano Gómez
INIFAP AGUASCALIENTES

DISEÑO DE PORTADA
Luis Roberto Reveles Torres

CÓDIGO INIFAP
MX-0-241709-44-02-11-09-85

ENCARGADA DE LA COMISIÓN EDITORIAL DEL CEZAC

Dra. Raquel K. Cruz Bravo

Grupo Colegiado del CEZAC

Presidente: Dr. Jaime Mena Covarrubias

Secretario: MC. Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez

Vocal: Dr. Luis Roberto Reveles Torres

Vocal: Dr. Guillermo Medina García

Vocal: Ing. Manuel Reveles Hernández

Vocal: Dr. Francisco Echavarría Cháirez

Vocal: MC. Mayra Denise Herrera

La presente publicación se terminó de imprimir en formato electrónico en noviembre de 2017 en el Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 carr Zacatecas-Fresnillo. CP. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, México.

Tel. 01 800 088 2222 ext 82328

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

DIRECTORIO

MC. Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez
Director de Coordinación y Vinculación

Dr.	Guillermo Medina García	Agrometeorología y Modelaje
MC.	Nadiezhdá Y. Ramírez Cabral*	Agrometeorología y Modelaje
Dr.	Manuel de Jesús Flores Nájera	Carne de Rumiantes
Dr.	Alfonso Serna Pérez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Ing.	José Ángel Cid Ríos*	Fríjol y Garbanzo
MC.	Juan José Figueroa González	Fríjol y Garbanzo
MC.	Mayra Denise Herrera	Fríjol y Garbanzo
Dr.	Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales
MC	Valentín Melero Meraz	Frutales
Ing.	Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
MC.	Miguel Servin Palestina	Ingeniería de Riego
Dra.	Raquel Cruz Bravo	Inocuidad de Alimentos
MC	Enrique Medina Martínez	Maíz
MC.	Francisco A. Rubio Aguirre	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Ing.	Ricardo A. Sánchez Gutiérrez	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Luis Roberto Reveles Torres	Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos
Dr.	Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr.	Rodolfo Velásquez Valle	Sanidad Forestal y Agrícola
Dra.	Blanca I. Sánchez Toledano	Socioeconomía

* Becarios

WWW.INIFAP.GOB.MX

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias