

## Parámetros agronómicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” y tratados con fosfitos

### Agronomic parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) inoculated with “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” and treated with phosphites

Alberto Roque-Enriquez<sup>1</sup> ,  
Juan Carlos Delgado-Ortiz<sup>2\*</sup> ,  
Mariana Beltrán-Beache<sup>3</sup> ,  
Yisa María Ochoa-Fuentes<sup>4</sup> ,  
Ernesto Cerna-Chávez<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Catedrático Conacyt-UAAAAN, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>3</sup> Investigador independiente. Zona Centro, CP. 25000. Saltillo, Coahuila, México.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia:  
jdelgado@conacyt.mx

#### Artículo científico

Recibido: 17 de abril 2020

Aceptado: 07 de enero 2021

Como citar: Roque-Enriquez A, Delgado-Ortiz JC, Beltrán-Beache M, Ochoa-Fuentes YM, Cerna-Chávez E (2021) Parámetros agronómicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” y tratados con fosfitos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 8(1): e2552. DOI: 10.19136/era.a8n1.2552

**RESUMEN.** La enfermedad del permanente del tomate o zebra chip causada por “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” (*Ca. L. solanacearum*), es de gran importancia en las regiones productoras de tomate en México, la cual causa pérdidas de entre el 60 y 100% de la producción. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de seis fosfitos (FOS), ácido salicílico y acibenzolar s-metil sobre el crecimiento del cultivo de tomate y la severidad de *Ca. L. solanacearum*. Las plantas de tomate se infectaron con *Ca. L. solanacearum* mediante el confinamiento con adultos de *B. cockerelli* portadores de esta bacteria. Como respuesta se evaluaron la disminución de la severidad de la enfermedad y nueve parámetros agronómicos. La aspersión de fosfitos redujo la severidad de los síntomas de la enfermedad ocasionada por *Ca. L. solanacearum*, mejorando las variables altura de planta, peso del fruto, peso de planta y peso de raíz. En cambio, la aspersión de ácido salicílico y acibenzolar s-metil no redujeron los efectos de la enfermedad en el cultivo de tomate.

**Palabras clave:** Acibenzolar s-metil, ácido salicílico, zebra chip, *Bactericera cockerelli*.

**ABSTRACT.** The disease permanent del tomato or zebra chip associated by “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” (*Ca. L. solanacearum*), is of great importance in the tomato producing regions of Mexico, which causes losses of between 60 and 100% of the production. The objective of this research was to evaluate the effect of six phosphites (FOS), salicylic acid and acibenzolar s-methyl on the growth of the tomato crop and the severity of *Ca. L. solanacearum*. Tomato plants were infected with *Ca. L. solanacearum* by confinement with adults of *B. cockerelli* carrying this bacterium. In response, the decrease in the severity of the disease and nine agronomic parameters were evaluated. Phosphite spraying reduced the severity of the symptoms of the disease caused by *Ca. L. solanacearum*, improving the variables plant height, fruit weight, plant weight and root weight. On the other hand, the spraying of salicylic acid and acibenzolar s-methyl did not reduce the effects of the disease in the tomato crop.

**Key words:** Acibenzolar S-methyl, salicylic acid, zebra chip, *Bactericera cockerelli*.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del tomate *Solanum lycopersicum* L. es una hortaliza de gran importancia económica, la cual presenta una demanda en aumento por su consumo en fresco, su alto valor nutritivo y contenido de antioxidantes (Bugianesi *et al.* 2004). Los principales países productores de tomate son: China, Estados Unidos, India y Turquía. Mientras que México ocupa el 10 lugar como productor a nivel mundial, siendo una de las principales hortalizas de exportación. En el 2018, se sembraron en México 47 200 ha, con una producción de 3 377 723 t; siendo los principales estados productores Sinaloa, San Luis Potosí y Michoacán (SIAP 2019).

Dentro los factores bióticos que limitan la producción del tomate a nivel mundial se encuentran las más de 200 enfermedades asociadas a las solanáceas, las cuales son causadas principalmente por hongos y bacterias que provocan pérdidas considerables a los productores (Martínez-Ruiz 2016). En 1984, en la región del Bajío, México se describe por primera vez la enfermedad permanente del tomate; la cual se estima que causa pérdidas de producción de alrededor del 60% (Delgado *et al.* 2019). Pero fue hasta el 2009 que la enfermedad en el cultivo de papa “zebra chip” fue asociada con *Candidatus Liberibacter solanacearum* (*Ca. L. solanacearum*) (Munyaneza *et al.* 2009b), destacando que esta bacteria también se asocia a la enfermedad variegado del chile (Munyaneza *et al.* 2009a); cuyo vector es el psílido *Bactericera cockerelli* (Sulc) (*B. cockerelli*) (Secor *et al.* 2009, Loeffting 2009a).

La aparición de síntomas causados por *Ca. L. solanacearum* dependen del haplotipo presente, del cultivo hospedante y de la fase de crecimiento (Khairulmazmi *et al.* 2008, Mendoza-Herrera *et al.* 2018). Los síntomas asociados a la enfermedad son: enrollamiento y amarillamiento de las hojas, achaparramiento de la planta y deformación del fruto, hojas lanceoladas con epinastia y márgenes con coloración purpura, aborto de flores, hojas frágiles y enrolladas hacia arriba, entrenudos cortos con desarrollo reducido, necrosis de los tejidos hasta el colapso de la planta de tomate (Loeffting *et*

*al.* 2009b, Rojas-Martínez *et al.* 2016; Mendoza-Herrera *et al.* 2018, Delgado-Ortiz *et al.* 2019). Por su problemática y daños ocasionados en México, Nueva Zelanda, Australia y parte de Europa es una plaga cuarentenaria el insecto vector y la bacteria (Rubio-Covarrubias *et al.* 2011, Teresani *et al.* 2015). Por lo que los productores incrementan los gastos en el manejo del cultivo y el control del vector (Gudmestad y Secor 2007). Al respecto, los inductores de resistencia, son un método alternativo para estimular los mecanismos naturales de defensa de la planta. Por lo que la activación de las respuestas naturales de la planta como la resistencia sistémica adquirida (SAR) pueden reducir la efectividad del ataque del patógeno, ya que dicha respuesta se relaciona con el metabolismo del ácido salicílico y metil-silicato, que culminan con la expresión de los genes relacionados con la patogénesis. También esta respuesta se puede activar por el ataque de algún fitopatógeno (Heli 2000, Rangel *et al.* 2010).

En los últimos años, se ha incrementado la contaminación ambiental, la resistencia a fitopatógenos y la disminución de la biodiversidad; debido al uso irracional de plaguicidas sintéticos; por lo que el uso de sales inorgánicas es de interés para el control de enfermedades mediante la inducción de resistencia (Yáñez-Juárez *et al.* 2017, Tripathi *et al.* 2019). El uso de los fosfitos (FOS) se puede incluir como parte de los programas de manejo integrado de enfermedades, para disminuir el uso excesivo de fungicidas y bactericidas, y disminuir los costos de producción (Lobato *et al.* 2011). Sobre los FOS, se sabe que son derivados del ácido fosforoso ( $H_3PO_3^-$ ), los cuales regularmente están combinados con cationes no metálicos como, potasio, calcio, sodio o amonio; los cuales se utilizan como alternativa para el control de organismo fitopatógenos; los cuales tienen buena capacidad de penetrar la hoja, tallo y raíz, además de que son transportados de forma fácil por vía xilema y floema (Deliopoulos *et al.* 2010, Tkaczyk *et al.* 2016, Yáñez-Juárez *et al.* 2017). Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de seis fosfitos, ácido salicílico y acibenzolar s-metil sobre el crecimiento del cultivo de tomate y la severidad de *Candidatus Liberibacter solanacearum*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta y establecimiento del insecto vector

Se realizaron colectas de ejemplares adultos del insecto vector *B. cockerelli* en cultivos de tomate con síntomas característicos de *Ca. L. solanacearum* bajo condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. Los insectos se capturaron con un aspirador y se mantuvieron en jaulas entomológicas con plantas de tomate, a temperatura de 22°C y fotoperiodo 14:10 h (Luz/Oscuridad) (Levy *et al.* 2013).

### Confirmación de *Ca. L. solanacearum* en *B. cockerelli*

Para confirmar la presencia de la bacteria en los ejemplares colectados se realizó la extracción de ADN del insecto por el método de Doyle y Doyle (1990). Para lo cual se tomaron 10 adultos y se maceraron en un mortero con nitrógeno líquido para luego agregar buffer de lisis (Tris-HCL a 100 Mm, pH 8; EDTA a 50 Mm, pH 8.5; NaCl a 50 Mm; SDS 2%). Al macerado con buffer de lisis se le añadieron 600  $\mu$ L de cloroformo alcohol isoamilico 24:1, para luego mezclar y centrifugar durante 15 min a 12 000 rpm. La fase superior del centrifugado se transfirió a otro tubo y se le adicionó una cantidad igual de isopropanol frío, para luego dejar reposar, y centrifugar por 10 min a 12 000 rpm. La fase acuosa se desechó y el ADN se resuspendió en 50  $\mu$ L de agua estéril. Para verificar calidad del ADN se corrió en un gel de agarosa al 2%.

Para la detección de *Ca. L. solanacearum* en el insecto por PCR se realizó con los indicadores Lso TX 16/23 F (5'- AATTTAGCAAGTTCTAAGGG-3') y Lso TX 16/23 R (5'-GGTACCTCCCATATCGC-3') (Ravindran *et al.* 2011), que amplifican una región de 383 pb. Las condiciones de la reacción fueron Buffer 1x, MgCl<sub>2</sub> 2.5 Mm, dNTPs 200  $\mu$ M, Lso TX 16/23 F 10 mM, Lso TX 16/23 R 10 mM, Taq 1U y 50 ng de ADN, a un volumen final de 25  $\mu$ L; con el siguiente programa en el termociclador: 94 °C por 2 min, con 35 ciclos de 94 °C por 30 s, 62 °C por 30 s y 72 °C por 1 min, y un ciclo de extensión final de 72 °C por 10 min.

### Diseño experimental y tratamientos

El experimento se realizó en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Saltillo. Se estableció la siembra de tomate de la variedad Río Grande en charolas de 200 cavidades que contenían peat moss y perlita en relación 2:1; transcurridos 28 días las plántulas se trasplantaron a bolsas de polietileno con capacidad de 10 L con una mezcla de peat moss y perlita en relación 1:1. Las plantas se irrigaron con diferentes porcentajes de la solución Steiner (1961) según la etapa fenológica del cultivo, de la emergencia de la planta hasta el inicio del crecimiento vegetativo se aplicó al 25%, durante el crecimiento vegetativo al 50%, en la floración y crecimiento de frutos al 75%, y durante el llenado de frutos y cosecha al 100%. La inoculación de *Ca. L. solanacearum*, se realizó mediante el confinamiento de 10 adultos de *B. cockerelli* portadores de la bacteria durante 24 h por planta de tomate; transcurrido el tiempo se retiraron los insectos adultos, así como los huevecillos que depositaron en las hojas.

Los tratamientos consistieron en la aspersión de seis fosfitos: fosfato de manganeso (FMn), de calcio (FCa), de zinc (FZn), de potasio (FK), de magnesio (FMg) y de cobre (FCu); además del ácido salicílico (AS) y el acibenzolar s-metil (ASM). Como tratamientos de referencia se observaron plantas inoculadas con *B. cockerelli*-*Ca. L. solanacearum* (IBC) y plantas sin inóculo (testigo), sin aspersión de ningún producto. Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar con 10 tratamientos y 12 repeticiones por tratamiento, con una planta por maceta como unidad experimental. En el caso de los fosfitos, se realizaron cuatro aplicaciones a dosis de 2 L ha<sup>-1</sup>, AS a 500 mM (Sigma-Aldrich) y ASM a 30 g ha<sup>-1</sup>. La primera aplicación se realizó al momento del trasplante, y las siguientes a los 15, 30 y 45 días después del trasplante (DDT).

Para confirmar la infección de *Ca. L. solanacearum* en las plantas se realizaron extracciones de ADN a las tres semanas post-inoculación, mediante el procedimiento de Doyle y Doyle (1990) antes mencionado. La amplificación por PCR para *Ca. L. solanacearum* se

llevó acabó con los indicadores Lso-SSR-1F (5'-TTATTTGAGATGGTTGTTAAATG-3') y Lso-SSR-1R (5'-TATTATCATTCTATTGCCTATTCG-3') para la determinación de haplotipos, que amplifican una región de 240 pb para el haplotipo A y 180 pb para el haplotipo B (Lin *et al.* 2012). Las reacciones se prepararon en un volumen de 25  $\mu$ L con Buffer 1x, MgCl<sub>2</sub> a 2.5 Mm, dNTPs a 200  $\mu$ M, Lso-SSR-1F 20 pmolar, Lso-SSR-1R 20 pmolar, Taq 1U 1 50 ng de ADN, con un volumen final de 25  $\mu$ L. Con un programa de amplificación de un ciclo de desnaturalización de 94 °C por 5 min, 35 ciclos de 94 °C por 30 s, 58 °C por 30 s y 72 °C por 45 s, con una extensión final de 72 °C por 10 min.

### Variables evaluadas

Se determinó la incidencia y severidad de *Ca. L. solanacearum* en las plantas de tomate con base a la escala, 0: planta sana; 1: enroscamiento de la hoja de la parte superior; 2: enroscamiento y clorosis en el borde de las hojas de la parte superior; 3: enroscamiento y clorosis en el borde de las hojas en toda la planta; 4: la planta se torna de un verde más intenso y presenta aborto de botones florales y puntas purpuras; 5: deformación del ápice y retraso en el crecimiento de planta; 6: nervaduras y puntas color purpura en las hojas más jóvenes; 7: coloraciones purpuras en más del 50% de las hojas superiores; 8: plantas pequeñas con enroscamiento y clorosis general, con aborto floral y puntas purpuras; 9: los foliolos del estrato superior de la planta comienza a tornarse secas y flexibles de la punta hacia el pecíolo de hoja, provocando la muerte descendente de la planta; y 10: planta muerta. Para determinar la severidad de la enfermedad el número de plantas con síntomas de *Ca. L. solanacearum* se registraron cada semana, y se calculó el área debajo de la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) con la fórmula propuesta por Shaner y Finney (1977). También se tomaron datos de los siguientes parámetros agronómicos: Altura de planta (ALTP), diámetro del tallo (DT), peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de raíz (PFR), Peso seco de raíz (PSR), peso del fruto (PF), diámetro polar del fruto (DP); diámetro ecuatorial del fruto (DE).

### Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza, y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ( $p \leq 0.05$ ); así como un análisis de correlación de Pearson con el programa estadístico del SAS versión 9.1.

## RESULTADOS

La incidencia de *Ca. L. solanacearum* fue determinada por PCR a los 21 días después de la inoculación (DDI) obteniendo un 100% de plantas positivas a *Ca. L. solanacearum*. La aparición de los síntomas se presentó a los 28 DDI; siendo las plantas asperjadas con ASM y ácido salicílico AS los primeros en presentar síntomas de la enfermedad, en comparación con los fosfitos, donde la aparición de los síntomas se retrasó entre 30 y 33 DDI. A los 77 DDI el FCu fue el tratamiento que menor ABCPE presentó (Tabla 1), reduciendo la expresión de síntomas en la planta en un 20% en comparación con el testigo inoculado con *B. cockerelli*. El ABCPE registrado por el AS y ASM fue estadísticamente superior a la registrada por el FCu ( $p \leq 0.05$ ). Las plantas tratadas con el ASM fue el tratamiento que mayor ABCPE registró. El AS y ASM tuvieron un retraso en la sintomatología de *Ca. L. solanacearum* hasta los 61 DDI, después de dicho tiempo la severidad en los tratamientos se expresó de manera agresiva llevando a las plantas a la muerte.

Para la altura de planta (Tabla 2) el tratamiento testigo no mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con el FCa, el cual presentó un incremento del 6.4% con respecto al IBC; siendo el AS el tratamiento que registró menor altura de planta, con disminución del 67% en comparación al testigo. El AS presentó mayor diámetro de tallo con un incremento del 6%; sin embargo, dicho aumento en el diámetro no es significativo con respecto a los tratamientos FMn, FZn, FK; los cuales presentaron un incremento de 3 a 5%, siendo el FCu el que presentó menor diámetro del tallo con respecto al testigo. En cuanto al PFP y PSP, en el FMn se pudo observar un aumentado del 10% en relación al testigo (648 y 88.8 g); pero no es

diferente estadísticamente a los demás tratamientos, con excepción del ASM que presentó el menor PFP y PSP (452.83 y 61.828 g). El testigo presentó el mayor PFR, pero no fue significativamente diferente al FK y FCu, los cuales presentaron un incremento de PFR del 30.2 y 27.9% en comparación al IBC. El tratamiento que menor peso fresco registró fue el ASM con un 64.6% en relación al IBC. Este mismo comportamiento se presentó en la variable PSR.

**Tabla 1.** Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en plantas de tomate *S. lycopersicum* inoculados con *Ca. L. solanacearum* a los 77 DDI y bajo tratamiento con seis fosfitos, ácido salicílico y acibenzolar s-metil en condiciones de invernadero.

| Tratamiento | ABCPE*                          |
|-------------|---------------------------------|
| ASM         | 306.3 $\pm$ 30.3 <sup>a</sup>   |
| FMg         | 270.7 $\pm$ 24.4 <sup>b</sup>   |
| IBC         | 268.4 $\pm$ 36.2 <sup>b</sup>   |
| AS          | 265.9 $\pm$ 19.82 <sup>bc</sup> |
| FMn         | 263.5 $\pm$ 21.7 <sup>bc</sup>  |
| FZn         | 258.2 $\pm$ 41.5 <sup>bc</sup>  |
| FK          | 248.6 $\pm$ 46.5 <sup>bc</sup>  |
| FCa         | 236.9 $\pm$ 44.4 <sup>cd</sup>  |
| FCu         | 214.7 $\pm$ 47.8 <sup>d</sup>   |
| Testigo     | 0.0 $\pm$ 0.0 <sup>e</sup>      |

\* Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí (Prueba DMS,  $p > 0.05$ ).

Para el peso del fruto, el tratamiento testigo registró el peso más alto con un rendimiento de 895.1 g; así como DP (61.2 mm) y DE (45.9 mm), el tratamiento IBC en comparación con el testigo tuvo un rendimiento de 231.3 g, con DP (37.7 mm) y DE (29.4 mm), teniendo una disminución de 74.1% de la producción, el FCa y FCu presentaron un aumento del rendimiento del 35.9% con respecto al rendimiento de IBC. Los tratamientos inoculados con *Ca. L. solanacearum* no registraron diferencia significativa, presentando los tratamientos FMn, AS y ASM el primer racimo mientras que el resto de los tratamientos produjeron frutos de tamaño reducido.

Del análisis de correlación se obtiene que en la medida que el ABCPE incrementa los parámetros agronómicos PSR ( $r = -0.3518^{**}$ ), PFR ( $r = -0.3837^{**}$ ), DE ( $r = -0.4497^{**}$ ), DP ( $r = -0.4695^{**}$ ), PF ( $r = -0.7437^{**}$ ), PSP ( $r = -0.2933^{**}$ ), PFP ( $r = -0.2510^{**}$ ) y ALTP ( $r = -0.4695^{**}$ ) presenta una disminución (Tabla 3).

0.3837\*\*), DE ( $r = -0.4497^{**}$ ), DP ( $r = -0.4695^{**}$ ), PF ( $r = -0.7437^{**}$ ), PSP ( $r = -0.2933^{**}$ ), PFP ( $r = -0.2510^{**}$ ) y ALTP ( $r = -0.4695^{**}$ ) presenta una disminución (Tabla 3).

## DISCUSIÓN

La determinación de la incidencia de la bacteria en las plantas difiere de lo reportado por Eric-Olivier *et al.* (2019), quienes obtuvieron un 50% de plantas infectadas a las tres semanas de inoculación, así como la aparición de síntomas a los 24 días en plantas no tratadas con micorrizas, sin especificar la aparición de síntomas en plantas tratadas con *Rhizophagus irregularis*. El retraso de síntomas concuerda con lo reportado por Mogollón-Castaño (2011), quienes registraron un retraso de dos días en la aparición de los primeros síntomas al ser tratadas con FK en comparación con el ácido salicílico. Al respecto, Mendoza-Herrera *et al.* (2018) describen la diferenciación de síntomas entre los haplotipos A y B; para el caso del haplotipo A, reportan que transcurridas ocho semanas la planta sigue creciendo, pero en menor proporción que las plantas sin inocular; mientras que para el haplotipo B, en el mismo periodo de tiempo la planta presenta colapso o muerte. Al respecto, en el presente trabajo las plantas presentaron infección por los dos haplotipos (Figura 1), con desarrollo de la planta hasta 21 días más que lo reportado por Mendoza-Herrera *et al.* (2018). Mientras que Hernández-Deheza *et al.* (2018), reportan que la severidad de los síntomas, ABCPE y el daño en los tubérculos de papa, fue mayor en presencia del haplotipo A y B; en comparación con las plantas inoculadas solo con el haplotipo B. Se observó una reducción del 20% en el ABCPE al aplicar FCu, lo que coincide con lo reportado por Abbasi y Lazarovits (2006) quienes, al tratar semilla de pepino, tuvieron una reducción en la infección de las plantas mayor al 60% infectadas por *Pythium* spp. Al respecto, Nascentio *et al.* (2016), mencionan una reducción del 73.4% en los síntomas de *Bipolaris oryzae* en plantas de arroz al ser tratadas con fosfito de potasio, mientras que Förster *et al.* (1998) reportan disminución de

**Tabla 2.** Parámetros agronómicos por tratamiento de *Solanum lycopersicum* var. Río Grande infectados con *Ca. L. solanacearum*.

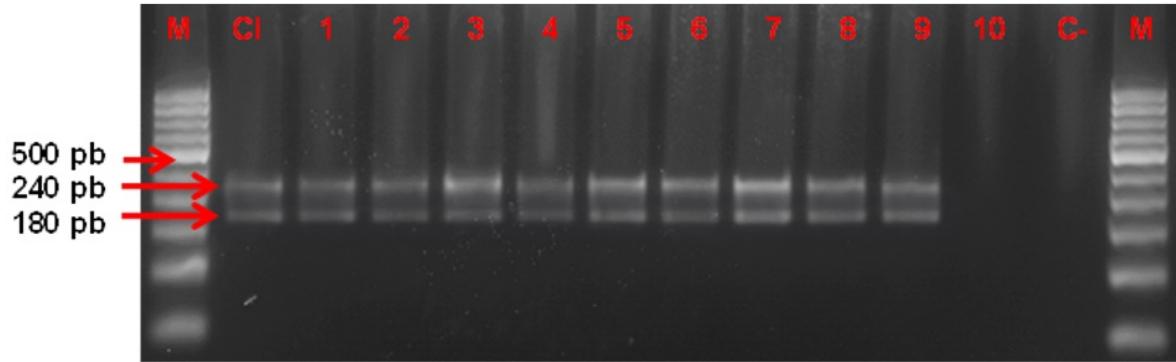
| Trat | Variables Agronómicas*     |                           |                             |                          |                              |                            |                            |                          |                          |
|------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
|      | ALTP <sup>1</sup>          | DT <sup>2</sup>           | PFP <sup>3</sup>            | PSP <sup>3</sup>         | PFR <sup>3</sup>             | PSR <sup>3</sup>           | PF <sup>3</sup>            | DP <sup>2</sup>          | DE <sup>2</sup>          |
| FMn  | 62.6 ± 14.4 <sup>cd</sup>  | 13.3 ± 0.8 <sup>ab</sup>  | 753.0 ± 160.5 <sup>a</sup>  | 89.4 ± 21.4 <sup>a</sup> | 159.0 ± 67.5 <sup>abc</sup>  | 21.0 ± 6.3 <sup>bcd</sup>  | 116.2 ± 294.8 <sup>b</sup> | 32.4 ± 18.4 <sup>b</sup> | 26.7 ± 14.1 <sup>b</sup> |
| FCa  | 78.3 ± 17.4 <sup>ab</sup>  | 12.5 ± 1.7 <sup>abc</sup> | 687.3 ± 131.9 <sup>ab</sup> | 88.1 ± 17.9 <sup>a</sup> | 148.0 ± 57.8 <sup>abcd</sup> | 19.5 ± 6.5 <sup>cd</sup>   | 314.7 ± 357.6 <sup>b</sup> | 38.4 ± 21.4 <sup>b</sup> | 30.0 ± 16.5 <sup>b</sup> |
| FZn  | 69.4 ± 16.3 <sup>bcd</sup> | 13.6 ± 1.6 <sup>ab</sup>  | 625.2 ± 161.8 <sup>b</sup>  | 80.5 ± 17.1 <sup>a</sup> | 125.8 ± 48.2 <sup>cde</sup>  | 20.5 ± 8.3 <sup>abcd</sup> | 258.2 ± 294.8 <sup>b</sup> | 39.2 ± 24.4 <sup>b</sup> | 30.5 ± 18.9 <sup>b</sup> |
| FK   | 72.7 ± 12.6 <sup>bc</sup>  | 13.4 ± 2.6 <sup>ab</sup>  | 678.2 ± 111.7 <sup>ab</sup> | 85.6 ± 17.3 <sup>a</sup> | 177.8 ± 60.6 <sup>ab</sup>   | 22.4 ± 4.8 <sup>bcd</sup>  | 231.4 ± 324.6 <sup>b</sup> | 34.6 ± 23.2 <sup>b</sup> | 26.7 ± 17.4 <sup>b</sup> |
| FMg  | 63.0 ± 14.5 <sup>cd</sup>  | 12.9 ± 1.0 <sup>abc</sup> | 659.2 ± 165.8 <sup>ab</sup> | 85.5 ± 22.8 <sup>a</sup> | 132.2 ± 79.7 <sup>bcd</sup>  | 20.0 ± 9.6 <sup>bcd</sup>  | 234.5 ± 323.4 <sup>b</sup> | 36.1 ± 18.7 <sup>b</sup> | 27.8 ± 14.5 <sup>b</sup> |
| FCu  | 72.3 ± 20.9 <sup>bc</sup>  | 11.7 ± 1.9 <sup>c</sup>   | 639.7 ± 126.4 <sup>b</sup>  | 82.7 ± 17.1 <sup>a</sup> | 174.6 ± 74.0 <sup>ab</sup>   | 25.1 ± 7.3 <sup>ab</sup>   | 304.8 ± 372.5 <sup>b</sup> | 29.2 ± 26.4 <sup>b</sup> | 23.9 ± 21.7 <sup>b</sup> |
| AS   | 58.3 ± 10.1 <sup>d</sup>   | 13.7 ± 0.8 <sup>a</sup>   | 605.3 ± 129.4 <sup>b</sup>  | 78.8 ± 10.9 <sup>a</sup> | 102.9 ± 48.7 <sup>de</sup>   | 15.5 ± 5.2 <sup>de</sup>   | 144.4 ± 227.6 <sup>b</sup> | 34.8 ± 18.4 <sup>b</sup> | 26.7 ± 14.1 <sup>b</sup> |
| ASM  | 71.9 ± 15.5 <sup>bc</sup>  | 12.4 ± 0.7 <sup>bc</sup>  | 452.8 ± 126.5 <sup>c</sup>  | 61.8 ± 14.8 <sup>b</sup> | 88.1 ± 46.4 <sup>c</sup>     | 12.7 ± 4.6 <sup>c</sup>    | 148.4 ± 243.1 <sup>b</sup> | 35.6 ± 19.0 <sup>b</sup> | 27.6 ± 13.5 <sup>b</sup> |
| IBC  | 73.6 ± 9.1 <sup>bc</sup>   | 13.1 ± 0.9 <sup>ab</sup>  | 701.9 ± 103.5 <sup>ab</sup> | 87.1 ± 14.4 <sup>a</sup> | 136.5 ± 69.8 <sup>bcd</sup>  | 18.0 ± 9.9 <sup>de</sup>   | 231.3 ± 230.0 <sup>b</sup> | 37.7 ± 19.3 <sup>b</sup> | 29.4 ± 14.6 <sup>b</sup> |
| Test | 86.8 ± 8.3 <sup>a</sup>    | 12.9 ± 2.0 <sup>ab</sup>  | 684.0 ± 162.5 <sup>ab</sup> | 88.8 ± 23.5 <sup>a</sup> | 196.1 ± 46.2 <sup>a</sup>    | 26.0 ± 6.6 <sup>a</sup>    | 895.1 ± 291.9 <sup>a</sup> | 61.2 ± 6.9 <sup>a</sup>  | 45.9 ± 5.1 <sup>a</sup>  |

Trat: tratamiento; ALTP: altura de planta; DT: diámetro de tallo; PFP: peso fresco de la planta; PSP: peso seco de la planta; PFR: peso fresco de raíz; PSR: peso seco de raíz; PF: peso del fruto; DP: diámetro polar; DE: diámetro ecuatorial; FMn: fosfito de manganeso; FCa: fosfito de calcio; FZn: fosfito de zinc; FMg: fosfito de magnesio; FK: fosfito de potasio; FCu: fosfito de cobre; AS: ácido salicílico; ASM: Acibenzolar S-metil; IBC: testigo inoculado con *Bactericera-Candidatus*; Test: testigo sin inocular. \* Promedios con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes entre sí (Prueba DMS,  $p > 0.05$ ). <sup>1</sup> datos en cm, <sup>2</sup> datos en mm y <sup>3</sup> datos en gr.

**Tabla 3.** Correlación entre los parámetros agronómicos y el ABCPE de plantas de tomate inoculadas con *Ca. L. solanacearum*.

| ABCPE     | PSR      | PFR      | DER1     | DPR1     | PF       | PSP      | PFP      | DT      | ALTP   |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------|
| 1.0000    |          |          |          |          |          |          |          |         |        |
| -0.3518** | 1.0000   |          |          |          |          |          |          |         |        |
| -0.3837** | 0.8262** | 1.0000   |          |          |          |          |          |         |        |
| -0.4497** | 0.2461** | 0.2059*  | 1.0000   |          |          |          |          |         |        |
| -0.4695** | 0.2584** | 0.2066*  | 0.9850** | 1.0000   |          |          |          |         |        |
| -0.7437** | 0.4096** | 0.3723** | 0.6687** | 0.6869** | 1.0000   |          |          |         |        |
| -0.2933** | 0.3597** | 0.4258** | 0.2250** | 0.2185** | 0.3060** | 1.0000   |          |         |        |
| -0.2510** | 0.3287** | 0.4242** | 0.1757*  | 0.1692NS | 0.2041*  | 0.9048** | 1.0000   |         |        |
| 0.0144**  | -0.0049  | -0.0485  | 0.0241   | 0.0040   | -0.0439  | 0.1374   | 0.1477   | 1.0000  |        |
| -0.4695   | 0.1544   | 0.2028*  | 0.3753** | 0.3883** | 0.4664** | 0.4096** | 0.4134** | -0.1520 | 1.0000 |

\*Significancia al 0.05%; \*\* Significancia al 0.01%



**Figura 1.** Productos de amplificación de PCR con los iniciadores Lso-SSR-1F/Lso-SSR-1R para haplotipos de *Ca. L. solanacearum*. M: Marcador de peso molecular, Cl: Colonia infectiva, 1: FMn, 2: FCa, 3: FZn, 4: FK, 5: FMg, 6: FCu, 7: AS, 8: ASM, 9: IBC, 10: Testigo sin inocular, C-: Control negativo.

0 a 60% en la incidencia de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento tratadas con fosfitos.

La planta se defiende del ataque de las bacterias a través de la inducción, síntesis y acumulación de compuestos de bajo peso molecular como metabolitos secundarios, liberando alcaloides, terpenoides y fenilpropanoides que participan de forma directa en el organismo o restringiendo su

invasión al resto de la planta, sintetizando enzimas que degradan la pared celular del patógeno o inactivando compuestos tóxicos de origen microbiano (Jiménez *et al.* 2003). Los fosfitos en dosis adecuadas pueden estimular la producción de metabolitos biológicamente activos; para incrementar la floración, rendimiento, tamaño de fruto, contenido de sólidos solubles totales, concentración de anto-

cianinas y proporcionar el control de algunas enfermedades (Jiménez *et al.* 2003, Lovatt y Mikkelsen 2006). Al respecto, Estrada-Ortiz *et al.* (2013) demostraron que al suministrar FOS al 30% en la solución nutritiva no afecta de forma significativa el rendimiento en fresas, pero sí afecta la calidad de la fruta mejorando la concentración de antocianinas, pH y CE.

La altura de planta fue favorecida con el tratamiento FCa, lo que difiere de Romero *et al.* (2018), quienes reportan un incremento en altura de planta del 24.8% en rosales infectados con mildiu veloso (*Peronospora sparsa*) y tratadas con FOS; mientras que Mogollón y Castaño (2011), reportan un efecto similar con tres aplicaciones de FOS en plátano (variedad Dominico-Hartón) infectadas con *Mycospharella* spp., con incremento del 26% de la altura de planta con respecto al testigo; de igual manera Quintero y Zapata (2012), reportan comportamiento similar en Dominico-Hartón, alcanzando un incremento del 67% en altura de plantas tratadas con FOS y con presencia de nematodos (*Radopholus similis*, *Helicotylenchus* spp. y *Meloidogyne* spp.). Con respecto al DT no se encontraron diferencias significativas entre el AS y los FOS, comportamiento similar fue observado por Romero *et al.* (2018), quienes reportan un incremento del 13.6% en el diámetro del tallo en plantas de rosal inoculadas con *Peronospora sparsa* y tratadas con FOS.

Las variables de PFP y PSP fueron beneficiadas por los FOS con respecto al IBC; lo que concuerdan con lo mencionado por Pastor *et al.* (2011), quienes indican que el uso de FOS a diferentes concentraciones en plantas de tomate infectadas con *Phytophthora parasitica*, con 1.4 mg mL<sup>-1</sup> se incrementó el peso fresco y seco de la planta. De igual forma Abbasi y Lazarovits (2006), reportan el incremento en un 55% en el PF en plantas de pepino tratadas con FOS. Mientras que Cortés *et al.* (2018), reporta un crecimiento de un 20 y 25% en PFP y PSP en plantas de piña inoculadas *Phytophthora* sp. y tratadas con FOS.

El PFR y PSR obtenido concuerda con Mofidnakhaei *et al.* (2016), quienes reportan un incremento del área radicular en plantas de pepino in-

fectadas con *Pythium ultimum*, y tratadas con FOS, y con lo reportado por Pastor *et al.* (2011), quienes observaron un incremento del 31.6% del PFR y PSR en plantas de tomate tratadas con 1.4 mg mL<sup>-1</sup> de PK e infectadas con *Phytophthora parasitica*. Mismo comportamiento que fue observado por Cortés *et al.* (2018), quienes obtuvieron un aumento del 57% en PFR y PSR en plantas de piña con incidencia de *Phytophthora* sp. Al respecto, se sabe que las plantas cultivadas en condiciones limitadas de fosforo son muy sensibles a FOS y muestran síntomas de toxicidad, así como retraso del crecimiento de la raíz primaria, y el amarillamiento de la lámina foliar en las hojas jóvenes (Gómez-Merinoa y Trejo-Téllez, 2015).

Los incrementos en el rendimiento obtenidos coinciden con lo reportado por Jirón-Rojas *et al.* (2016), quienes al evaluar el rendimiento en el cultivo de tomate infectado con permanente del tomate bajo cielo abierto y casa sombra; obtuvieron rendimientos de 52 456.5 y 86 401.8 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, con una pérdida estimada del 39% por daños de la enfermedad, indicando que el rendimiento del tomate se va afectado según la etapa fenológica en que ocurre la infección, destacando que si la infección se presenta en las primeras cuatro semanas de floración las pérdidas pueden ir de un 75 al 98%. La reducción en el crecimiento vegetativo y en el rendimiento es un comportamiento que es atribuido como costo fisiológico por la aplicación intensiva del ASM en la inducción de las defensas de la planta (Van Loon *et al.* 2006). Mientras que Lobato *et al.* (2011) sugieren que la inducción de respuesta de defensa de la planta con FK tiene bajo costo energético en el aumento del contenido de fitoalexina y quitinasa; además de mayor actividad de peroxidasa y polifenol sin afectar el rendimiento en papa. También se reporta que las plantas tratadas con FOS limitan el crecimiento de los patógenos por deposición de lignina y suberina en los tejidos subsecuentes a los tejidos dañados, así como la acumulación de pectina en la epidermis y la corteza, la acumulación de calosa y peróxido de hidrógeno (Pilbeam *et al.* 2011, Olivieri *et al.* 2012, Machinandiarena *et al.* 2012). Así mismo se ha demostrado, que las aplicaciones foliares de FMn favorecen la concentración de pigmentos fotosintéticos

en las plantas durante la infección por hongos, lo que confirma su efecto positivo para la funcionalidad de la fotosíntesis en los folíolos de las plantas de tomate (Chaves *et al.* 2020). También se sabe que el de AS a bajas concentraciones puede favorecer la producción de tubérculos, la disminución de síntomas de la punta morada de la papa y beneficiar la translocación de fotosintato, en contribución al peso seco de tubérculo y planta, índice de área foliar e incrementos de las tasas de crecimiento (Sánchez-Rojo *et al.* 2010).

La correlación negativa entre la altura de planta de chile y la infección han sido registrada para *X. campestris* pv. *vesicatoria* por Robles-Hernández *et al.* (2017). Mientras que para “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” se ha observado baja correlación entre el número de frutos sintomáticos de HLB por árbol y la severidad de la enfermedad, además de que los frutos más sintomáticos caen en una fase temprana de la temporada (Beozzo *et al.* 2011). Cabe señalar que para limón persa infectado con “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” se ha estimado que a mayor porcentaje de severidad se disminuye el peso del fruto, diámetro ecuatorial, diámetro polar, grosor de la cascara y volumen de jugo en el fruto; sin mostrar correlación significativa con grados Brix y acidez titulable (Flores-Sánchez *et al.* 2015).

## CONCLUSIONES

La aplicación de los fosfitos sobre plantas inoculadas con “*Candidatus Liberibacter solanacearum*”, retardo la aparición de síntomas, además de que redujo el desarrollo de síntomas en la planta hasta en 20%. También se favorece el desarrollo de la planta, mejorando la altura (6.3%), peso del fruto (30.4%), peso fresco (7.2%), además del peso seco (1.2%) y peso fresco de la planta (30.2%), así como el peso seco del sistema radicular (39.4%). Se observaron correlaciones negativas entre el ABCPE con los parámetros agronómicos (PSR, PFR, DE, DP, PF, PSP, PFP y ALTP).

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante la realización de su estancia en el Posgrado a Alberto Roque Enriquez. Así como al apoyo del Proyecto 1048 del programa Cátedras CONACyT.

## LITERATURA CITADA

- Abbasi P, Lazarovits G (2006) Seed treatment with phosphonate (AG3) suppresses *Pythium* damping-off of cucumber seedlings. Plant Disease 90: 459-464.
- Beozzo BR, Montesino LH, Godoy GM, Filho AB, Amorim L (2011) Yield loss caused by huanglongbing in different sweet orange cultivars in São Paulo, Brazil. European Journal Plant Pathology 130: 577-586.
- Bugianesi R, Salucci M, Leonardi C, Ferracane R, Catasta G, Azzini E, Maiani G (2004) Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and β-carotene in cherry tomatoes. European Journal of Nutrition 43: 360-366.
- Chaves JAA, Oliveira LM, Silva LC, Silva BN, Dias CS, Rios JA, Rodrigues FA (2020) Physiological and biochemical responses of tomato plants to white mold affected by manganese phosphite. Journal of Phytopathology. 2020, 00: 1-19. Doi: 10.1111/jph.12969
- Cortés KG, Calvo MC, Granados XM (2018) Efecto de fosfitos de potasio sobre *Phytophthora* sp. y parámetros de crecimiento en plantas de piña (*Ananas comosus* var. *comosus*). Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo 1: 10-24.

- Delgado-Ortiz JC, Beltrán-Beache M, Cerna-Chávez E, Aguirre-Uribe LA, Landero-Flores J, Rodríguez-Pagaza Y, Ochoa-Fuentes YM (2019) *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 22: 1-12.
- Deliopoulos T, Kettlewell PS, Hare MC (2010) Fungal disease suppression by inorganic salts: a review. Crop Protection 29: 1059-1075.
- Doyle JJ, Doyle JL (1990) Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus 12: 13-15.
- Estrada-Ortiz E, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Núñez-Escobar R, Sandoval-Villa M (2013) The effects of phosphite on strawberry yield and fruit quality. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13: 612-620.
- Flores-Sánchez JL, Mora-Aguilera G, Loeza-Kuk E, López-Arroyo JI, Domínguez-Monge S, Acevedo-Sánchez G y Robles-García P (2015) Pérdidas en Producción inducidas por *Candidatus Liberibacter asiaticus* en Limón Persa en Yucatán, México. Revista Mexicana de Fitopatología 33: 195-210.
- Förster H, Adaskaveg JE, Kim DH, Stanghellini ME (1998) Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. Plant Disease 82: 1165-1170.
- Gómez-Merino FC, Trejo-Téllez LI (2015) Biostimulant activity of phosphite in horticulture. Scientia Horticulturae 196: 82-90.
- Gudmestad NC, Secor GA (2007) Zebra Chip: A new disease of potato. Nebraska Potato Eyes 19: 1-4.
- Heli M (2000) Different strategies for studying ecological aspects of systemic acquired resistance (SAR). Journal of Ecology 88: 707-708.
- Hernández-Deheza MG, Rojas-Martínez RI, Rivera-Peña A, Zavaleta-Mejía E, Ochoa-Martínez DL, Carrillo-Salazar A (2018) Resistance in potato to two haplotypes of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*'. Journal of Plant Pathology 100: 191-196.
- Jiménez GS, Ducoing P, Sosa MR (2003) La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. Revista Mexicana de Fitopatología 21: 355-363.
- Jirón-Rojas RL, Nava-Camberos U, Jiménez-Díaz F, Alvarado-Gómez OG, Ávila-Rodríguez V, García-Hernández JL (2016) Densidades de *Bactericera cockerelli* (Sulc) e Incidencia del "Permanente del Tomate" en Diferentes Condiciones de Producción del Tomate. Southwestern Entomologist 41: 1085-1094.
- Khairulmazmi A, Kamaruzaman S, Habibuddin H, Jugah K, Syed RSO (2008) Occurrence and spread of *Candidatus Liberibacter asiaticus*, the causal agent of Huanglongbing disease of citrus in Malaysia. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 4: 103-111.
- Lévy J, Hancock J, Ravindran A, Gross D, Tamborindeguy C, Pierson E (2013) Methods for rapid and effective PCR-based detection of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' from the insect vector *Bactericera cockerelli*: streamlining the DNA extraction/purification process. Journal of Economic Entomology 106: 1440-1445.
- Liefting LW, Sutherland PW, Ward LI, Paice KL, Weir BS, Clover GRG (2009a) A new '*Candidatus Liberibacter*' species associated with diseases of solanaceous crops. Plant Disease 93: 208-214.
- Liefting LW, Weir BS, Pennycook SR, Clover GRG (2009b) '*Candidatus Liberibacter*', a liberibacter associated with plants in the family Solanaceae. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 59: 2274-2276.

- Lin H, Islam MS, Bai Y, Wen A, Lan S, Gudmestad NC, Civerolo EL (2012) Genetic diversity of 'Candidatus Liberibacter' strains in the United States and Mexico revealed by simple sequence repeat markers. European Journal of Plant Pathology 132: 297-308.
- Lobato MC, Machinandieren MF, Tambascio C, Dosio GAA, Caldiz DO, Dalio GR, Andreu AB, Olivieri FP (2011) Effect of foliar applications of phosphite on post-harvest potato tubers. European Journal Plant Pathology 130: 155-163.
- Lovatt CJ, Mikkelsen RL (2006) Phosphate fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do. Better crops90: 11-13.
- Machinandiarena MF, Lobato MC, Feldman ML, Daleo GR, Andreu AB (2012) Potassium phosphate primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. Journal of Plant Physiology 169: 1417-1424.
- Martínez-Ruiz FE, Cervantes-Díaz L, Aíl-Catzím CE, Hernández-Montiel LG, Sánchez, CLDT, Rueda-Puente EO (2016) Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) en la zona árida del norte de México: la importancia de su diagnóstico. European Scientific Journal 12: 232-256.
- Mendoza-Herrera A, Lévy J, Harrison K, Yao J, Ibanez F, Tamborindeguy C (2018) Infection by 'Candidatus Liberibacter' haplotypes A and B in *Solanum lycopersicum* 'Moneymaker'. Plant Disease 102: 2009-2015.
- Mofidnakhaei M, Abdossi V, Dehestani A, Pirdashti H, Babaeizad V (2016) Potassium phosphate affects growth, antioxidant enzymes activity and alleviates disease damage in cucumber plants inoculated with *Pythium ultimum*. Archives of Phytopathology and Plant Protection 49: 207-221.
- Mogollón OÁ, Castaño ZJ (2011) Efecto de inductores de resistencia en plántulas de plátano dominico-hartón (*Musa balbisiana* aab) contra *Mycosphaerella* spp. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 35: 463-471.
- Munyaneza JE, Sengoda VG, Crosslin JM, Garzón-Tiznado JA, Cárdenas-Valenzuela OG (2009a) First report of *Candidatus Liberibacter solanacearum* in pepper plants in México. Plant Disease 93: 1076. Doi: 10.1094/PDIS-93-10-1076B.
- Munyaneza JE, Sengoda VG, Crosslin JM, De la Rosa G, Sánchez A (2009b) First report of "Candidatus Liberibacter psyllaorous" in potato tubers with zebra chip disease in Mexico. Plant Disease 93: 552. Doi: 10.1094/PDIS-93-5-0552A.
- Nascimento KJT, Araujo L, Resende RS, Schurt DA, Silva WLD, Rodrigues FDÁ (2016) Silicon, acibenzolar-S-methyl and potassium phosphate in the control of brown spot in rice. Bragantia 75: 212-221.
- Olivieri FP, Feldman ML, Machinandiarena MF, Lobato MC, Caldiz DO, Dalio GR and Andreu AB (2012) Phosphate applications induce molecular modifications in potato tuber periderm and cortex that enhance resistance to pathogens. Crop Protection 32: 1-6. Doi: 10.1016/j.cropro.2011.08.025.
- Pastor JN, Burón-Moles G, Rojo F, Martin-Closas L, Almacellas J (2011) *In vitro* and *in vivo* antifungal activity of phosphate against *Phytophthora parasitica* in tomato. Acta Horticulture 917: 167-172.
- Pilbeam RA, Howard K, Shearer BL, Hardy GEJ (2011) Phosphate stimulated histological responses of *Eucalyptus marginata* to infection by *Phytophthora cinnamomi*. Tree 25: 1121-1131.
- Quintero-Vargas C, Castaño-Zapata J (2012) Evaluación de inductores de resistencia para el manejo de nemátodos fitoparásitos en plántulas de plátano. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 36: 575-586
- Rangel SG, Castro ME, Beltran PE, Reyes H, García PE (2010) El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. Biológicas 12: 90-95.

- Ravindran A, Lévy J, Pierson E, Gross DC (2011) Development of primers for improved PCR detection of the potato zebra chip pathogen, '*Candidatus Liberibacter*'. *Plant Disease* 95: 1542-1546.
- Robles-Hernández L, Ojeda-Barrios DL, González-Franco AC, Hernández-Huerta J, Salas-Salazar NA, Hernández-Rodríguez OA (2017) Susceptibilidad de aislados de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* a *Streptomyces* y extractos bioactivos de Ganoderma. *Acta Universitaria* 27: 30-39.
- Rojas-Martínez RI, Camacho-Tapia M, Zavaleta-Mejía E, Lévy J (2016) First report of the presence of haplotypes A and B of *Candidatus Liberibacter solanacearum* in chili (*Capsicum annuum* L.) in the Central Region of Mexico. *Journal of Plant Pathology* 98: 111-115.
- Romero PIÁ, Velasco RG, Herrera MEM, Siclán MLS, Serrano DD (2018) Identificación y alternativas de manejo del mildiu veloso en rosal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1577-1589.
- Rubio-Covarrubias OA, Almeyda-León IH, Cadena-Hinojosa MA, Lobato-Sánchez R (2011) Relación entre *Bactericera cockerelli* y presencia de *Candidatus Liberibacter psyllaurous* en lotes comerciales de papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 17-28.
- Sánchez-Rojo S, López-Delgado HA, Mora-Herrera ME, Almeyda-León HI, Zavaleta-Mancera HA, Espinosa-Victoria D (2010) Salicylic acid protects potato plants from phytoplasma-associated stress and improves tuber photosynthate assimilation. *American Journal of Potato Research.* 88: 175-183.
- Secor GA, Rivera VV, Abad JA, Lee IM, Clover GRG, Liefing LW, De Boer SH (2009) Association of '*Candidatus Liberibacter*' with zebra chip disease of potato established by graft and psyllid transmission, electron microscopy, and PCR. *Plant Disease* 93: 574-583.
- SIAP (2019) Expectativas de Producción Agropecuaria y pesquera. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/expectativas-de-produccion-agropecuaria-pesquera>. Fecha de consulta: 03 de enero 2020.
- Shaner G, Finney RE (1977) The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-Mildewing resistance in knot wheat. *Phytopathology* 67: 1051-1056.
- Steiner AA (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15: 134-154.
- Teresani G, Hernández E, Bertolini E, Silverio F, Marroquín C, Molina J, Hermoso De Mendoza A, Cambra M (2015) Search for potential vectors of *Candidatus Liberibacter solanacearum*: population dynamics in host crops. *Journal of Agricultural Research* 13. Doi: 10.5424/sjar/2015131-6551.
- Eric-Olivier T, Harrison K, Abo K, Casimir BY, Pierson LS, Tamborindeguy C, Pierson EA, Levy JG (2019) Mycorrhization mitigates disease caused by "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" in tomato. *Plants* 8 (507): 1-11.
- Tkaczyk M, Kubiak KA, Sawicki J, Nowakowska JA, Oszako T (2016) The use of phosphates in forestry. *Forest Research Papers* 77: 76-81.
- Tripathia D, Raikhy G, Kumar D (2019) Chemical elicitors of systemic acquired resistance-Salicylic acid and its functional analogs. *Current Plant Biology* 17: 48-59
- Van Loon LC, Van HM, Pelser M, Pieterse CMJ, To J (2006) Costos y beneficios de la preparación para la defensa en *Arabidopsis*. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias* 103: 5602-5607.
- Yáñez-Juárez MG, López-Orona CA, Ayala-Tafoya F, Partida-Ruvalcaba L, Velázquez-Alcaraz TJ, Medina-López R (2017) Phosphites as alternative for the management of phytopathological problems. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36: 79-94.